

Mestrado em Ciências do Desporto

Desportos de Academia

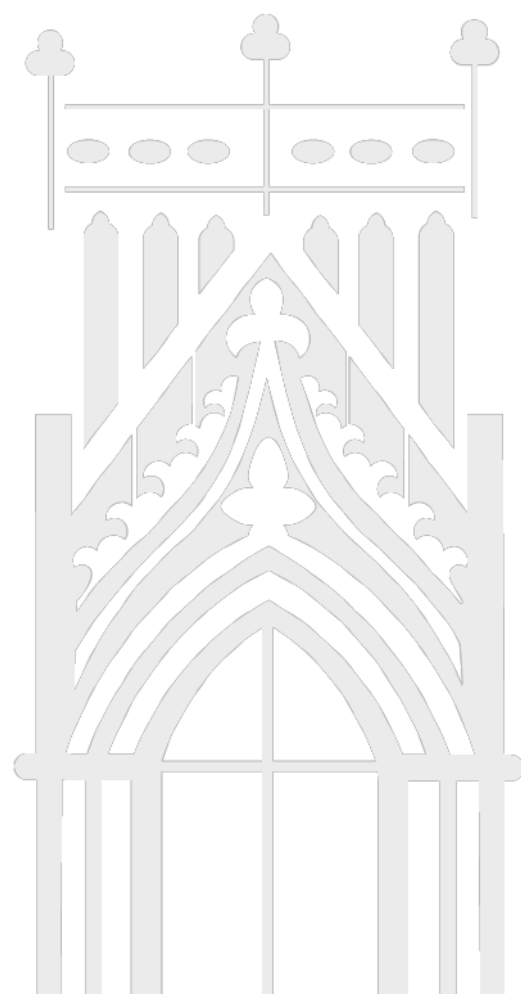
Efeitos agudos do treino excêntrico isotónico na função neuromuscular: impacto na força muscular, equilíbrio dinâmico e proprioção.

Cristiana Ribeiro Francisco

junho | 2019



Escola Superior de
Educação, Comunicação
e Desporto





Escola Superior de Educação, Comunicação e Desporto

Mestrado em Ciências do Desporto

Especialidade em Desportos de Academia

Efeitos agudos do treino excêntrico isotónico na função neuromuscular: impacto na força muscular, equilíbrio dinâmico e proprioceção.

Projeto de investigação aplicado para a obtenção do grau de mestre em Ciências do Desporto, com especialidade em Desportos de Academia, sob a orientação da Professora Doutora Carolina Vila-Chã e Coorientação do Professor Doutor António José de Paz.

Cristiana Francisco

Guarda, julho de 2019

Agradecimentos

“Se quiseres ir depressa, vai sozinho, se quiseres chegar longe vai acompanhado”
(Provérbio africano).

Os meus agradecimentos primeiramente são dirigidos à minha orientadora, à Professora Carolina Vila-Chã pela paciência neste longo processo, apoio e resiliência demonstrada. Sem a sua participação não teria sido possível terminar esta etapa.

Aos sujeitos em estudo, um grande obrigada por colaborarem connosco nesta investigação e por dispensarem parte do vosso tempo para passarem 4 horas enfiados num laboratório.

Agradeço também ao Stéfan Valente pela grande ajuda que me deu durante a recolha, por ter me acompanhado na maior parte do seu tempo e por ter ficado mais forte depois de ter levantado milésimas vezes as cargas na *leg extension*.

Aos meus colegas do mestrado, pela troca de conhecimentos e experiências vividas. Para vós, grandes sucessos.

Há cidade da Guarda, que me “abrigou” mais um ano, um bem-haja para vós.

Por último, mas não menos importante, um grande “chi-coração” para a minha irmã Sofia que certamente ficou com alguma experiência académica para trabalhos futuros, sem ela estes últimos pormenores não teriam sido possíveis.

Resumo

Este estudo teve como objetivo investigar as alterações neuromecânicas induzidas pelo treino excêntrico isotônico e consequentemente miopatia tardia (DOMS) do quadríceps durante um conjunto de tarefas motoras. Quinze sujeitos voluntários (idade média \pm SD, 23,2 \pm 2,9 anos) realizaram tarefas de equilíbrio dinâmico (índice global, ântero-posterior e médio-lateral), de alteração da posição segmentar (erro absoluto, erro constante e erro variável), contrações máximas voluntárias (MVC) e contrações isométricas para os extensores do joelho, seguidos de contrações isométricas a 10, 20, 30, 40 e 60% da MVC avaliadas no pré-teste, após e 24h após o treino excêntrico isotônico para o quadríceps (4 séries de 10 repetições a 120% de 1RM). O coeficiente de variação do sinal de força (CoV) foi calculado a partir das contrações submáximas de força e a taxa de produção de força (RFD) estimada através da contração explosiva isométrica. Para além da recolha de dados quantitativos, foi recolhida informação subjetiva sobre a percepção de dor sentida (1-10) para o pós e 24h pós-treino de força. Os dados foram analisados no programa STATISTICA (versão 10). A força máxima diminuiu em 17,9% após o treino ($P < 0,01$) e permaneceu reduzida em 13,6% 24h após a aplicação do treino ($P < 0,01$), comparativamente aos valores de pré-treino. A RFD ficou reduzida em 11,3% no pós-treino ($P < 0,01$) e em 12,5% nas 24h subsequentes ($P < 0,01$). Quando comparada com os valores de controlo, o CoV da força durante as contrações submáximas foi significativamente maior após o treino excêntrico ($P \leq 0,05$) retomando os valores nas 24h subsequentes. Durante as contrações explosivas, a EMG dos vastos aumentou no pós-treino, mas voltaram aos valores basais após as 24h. A perda da estabilidade força, de um modo geral foi acompanhada por um aumento da amplitude da EMG para os vastos. Verificou-se que somente o equilíbrio médio-lateral ficou comprometido após o treino, voltando a valores normais 24h depois. Para a proprioção, registou-se um aumento da magnitude do erro ($P = 0,05$) para os momentos subsequentes ao treino. Concluímos que as tarefas de produção de força parecem estar limitadas após treino excêntrico isotônico supramáximo, mas as tarefas de maior controlo motor mantêm-se inalteradas nas 24h precedentes.

Palavras-chave: treino excêntrico, cargas isotónicas, equilíbrio, proprioção, força e EMG.

Abstract

The aim of this study was to investigate the neuromechanical adjustments induced by isotonic eccentric exercise and delayed onset muscle soreness (DOMS) of the quadriceps throughout a range of motor tasks. Fifteen healthy volunteers (age, mean \pm SD, 23.2 \pm 2.9 years) performed a dynamic balance task (global, anteroposterior and mid-lateral index), a task on alteration of the segmental position (absolute error, constant error and variable error), maximum voluntary contractions (MVC), explosive isometric contractions of the knee extensors, isometric contractions at 10, 20, 30, 40 and 60% MVC at baseline, immediately after and 24 h after isotonic eccentric exercise of the quadriceps (4 sets of 10 reps at 120% 1RM). Coefficient of variation of the force signal (CoV) was computed from the submaximal contractions and rate of force development (RFD) was estimated from the explosive isometric contraction. The maximal force decreased by 17.9% immediately after exercise ($P < 0.01$) and remained reduced by 13.6% 24h following exercise ($P < 0.01$) with respect to baseline. The maximum RFD decreased by 11.3% immediately after exercise ($P < 0.01$) and remained reduced by 12.5% at 24h ($P < 0.01$). When compared to baseline, the CoV for force during the submaximal contractions was greater immediately after eccentric exercise ($P \leq 0.05$) and returned to baseline values following 24h. During the explosive contractions, the normalized EMG of the vasti muscles increased immediately after exercise, but returned to baseline values 24h after exercise. Reduced force steadiness was accompanied by a general increase in normalized EMG amplitude of the vasti muscles. Regarding to balance, it was observed that only the medial-lateral balance was compromised immediately after training, returning to baseline values 24h later. For proprioception, an increase in magnitude of the error ($P = 0.05$) was observed immediately following training. We conclude that tasks of force production seem to be limited after supramaximum isotonic eccentric training, but performance of submaximal tasks that require greater motor control, despite impaired following training, was recovered following 24 hours.

Keywords: eccentric training, isotonic loads, balance, proprioception, strength and EMG.

Índice Geral

Agradecimentos	I
Resumo	III
Abstract	V
Índice Geral.....	VII
Índice de Figuras	IX
Índice de Tabelas	XI
Lista de Abreviaturas.....	XIII
Introdução	1
Capítulo I: Revisão da Literatura.....	3
1. Revisão da Literatura.....	5
1.1. O treino da força e suas implicações para saúde	5
1.2. Tipos de Treino da Força	7
2. Treino Excêntrico	9
2.1. Abordagem ao Conceito	9
2.2. Adaptações agudas ao treino excêntrico supramáximo	12
2.3. Alterações Funcionais.....	15
Capítulo II: Problema, objetivos e hipóteses	17
3. Problema, objetivos e hipóteses.....	19
3.1. Definição do Problema	19
3.2. Objetivos	19
3.2.1. <i>Objetivos Gerais</i>	19
3.2.2. <i>Objetivos Específicos</i>	20
3.3. Hipóteses	20
Capítulo III: Materiais e Métodos	23
4. Materiais e Métodos	25
4.1. Caraterização da Amostra	25
4.2. Desenho do protocolo experimental	25
4.3. Procedimento experimental	27
4.4. Equilíbrio Dinâmico	28
4.5. Teste de Propriocepção.....	29
4.6. Testes de avaliação força muscular	30
4.6.1. Força Máxima Isométrica	30
4.6.2. Força Explosiva	31
4.6.3. Estabilidade de força (<i>Force Steadiness</i>).....	32

4.6.4.	Sessão de treino excêntrico isotônico supramáximo	33
4.7.	Recolha do Sinal Eletromiográfico e do sinal de força	34
4.8.	Análise e tratamento do Sinal de força	36
4.9.	Análise e tratamento do Sinal Eletromiográfico	37
4.10.	Variáveis.....	38
4.11.	Análise Estatística	38
Capítulo IV: Apresentação dos resultados		41
5.	Apresentação dos Resultados	43
5.1.	Perceção de dor nas 24h após treino excêntrico.....	43
5.2.	Força máxima isométrica dos extensores do joelho.....	43
5.3.	Taxa de produção de força dos extensores dos joelhos	44
5.4.	Estabilidade da produção de força (<i>force steadiness</i>)	45
5.5.	Proprioceção	46
5.6.	Equilíbrio dinâmico	47
5.7.	Atividade muscular	48
5.7.1.	Contrações isométricas explosivas	48
5.7.2.	Contrações submáximas isométricas	49
5.7.3.	Equilíbrio dinâmico	52
Capítulo V: Discussão de Resultados.....		53
6.	Discussão de Resultados	55
6.1.	Força muscular	55
6.2.	Estabilidade da produção de força, proprioceção e equilíbrio	57
6.3.	Equilíbrio dinâmico	59
Capítulo VI - Conclusões		61
Conclusões		63
Bibliografia.....		65
Anexos.....		75

Índice de Figuras

Figura 1 – Processo de destruição muscular pelo treino excêntrico. Eventos sucessivos na destruição das fibras musculares durante a ação excêntrica do exercício (adaptado de Proske e Allen, 2005).	13
Figura 2 - Definição e esquematização do protocolo experimental aplicado nas três sessões laborais.....	26
Figura 3 - Sequência de testes de avaliação aplicados no Pré, Pós e 24h após treino excêntrico isotônico.....	27
Figura 4 - Avaliação do equilíbrio dinâmico para o membro inferior dominante (MID) na Biodex Balance System.	29
Figura 5 - Avaliação da propriocepção para o MID na cadeira customizada (INEGI-UP).	30
Figura 6 - Avaliação da força máxima isométrica para o MID na cadeira W2C	31
Figura 7 - Avaliação da estabilidade da força a 30% da MVC, na cadeira customizada INEGI-UP, em que: A) mostra o sujeito a olhar para o monitor e B) é produção de força em tempo real.	33
Figura 8 - Aplicação do protocolo da sessão de treino excêntrico isotônico supramáximo, unicamente para o membro inferior dominante. A subida da carga era puxada por um ajudante para evitar ação concêntrica em carga do membro inferior dominante.	33
Figura 9 – Representação da identificação do início da produção de força, taxa de produção de força máxima (TPFmáx) e força máxima isométrica (MVC), durante as contrações isométricas explo-sivas.....	36
Figura 10 – Representação da identificação do intervalo do sinal e força para calcular o coeficiente de variação da força a diferentes intensidades de força (intervalo definido pelos dois círculos vermelhos). Neste exemplo a 20% da força máxima isométrica (MVC).	37
Figura 11 - Regiões de dor assinaladas pelos voluntários do estudo nas 24h subsequentes ao treino excêntrico. Foi pedido a cada sujeito que desenhasse a região em que sentiu dor durante a realização de atividades regulares do dia-a-dia (ex: caminhar, descer escadas.	43
Figura 12 – Média e erro padrão da força máxima isométrica dos extensores de joelhos (MVC) registada antes (pré), imediatamente após (após) e 24h após treino excêntrico isotônico. *** - $P \leq 0,001$	44
Figura 13 – Média e erro padrão da força máxima isométrica dos extensores de joelhos (MVC) registada antes (pré), imediatamente após (após) e 24h após treino excêntrico isotônico. *** - $P \leq 0,01$	44
Figura 14 – Média e erro padrão do valor médio da taxa de produção de força registada antes (pré), imediatamente após (após) e 24h após treino excêntrico isotônico, para os seguintes intervalos temporais: 0-30ms, 0-50ms, 0-100ms, 0-150ms e 0-200ms.....	45
Figura 15 – Média e erro padrão do valor médio do coeficiente de variação da força (CoV), em função:	45
Figura 16 – Média e erro padrão do valor médio do coeficiente de variação da força (CoV), em função da intensidade da contração isométrica e do momento de avaliação (pré, após e 24h após treino). * $P \leq 0,05$	46

Figura 17 – Média e respetivo erro padrão do erro absoluto (A), erro constante (B) e erro variável (C) durante a tarefa de reposicionamento do joelho a 130 graus, registado nos três momentos de avaliação (pré, após e 24h após treino). * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$	47
Figura 18 – Média e respetivo erro padrão do índice de estabilidade global (A), índice de estabilidade ântero-posterior (B) e índice de estabilidade medio-lateral (C) obtido durante o teste unipodal (membro inferior dominante), antes, imediatamente após e 24h após treino excêntrico. * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$	48
Figura 19 – Média e respetivo erro padrão da ativação muscular (ARV) do vasto lateral, vasto medial, bicípíte femoral durante a contração isométrica explosiva nas seguintes janelas temporais: 50ms centrada no momento em que o sujeito atinge a sua taxa máxima de produção de força e (B) nos 70ms que precedem o início da contração. * $P \leq 0,05$. 49	
Figura 20 – Média e respetivo erro padrão da ativação muscular (ARV) do vasto lateral (A), vasto medial (B) e bicípíte femoral (C), durante as contrações submáximas com intensidades de 10, 20, 30, 40 e 60% da MVC. * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$	50
Figura 21 – Média e respetivo erro padrão da frequência mediana (FMN) do vasto lateral (A), vasto medial (B) e bicípíte femoral (C), durante as contrações submáximas com intensidades de 10, 20, 30, 40 e 60% da MVC. * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$	51
Figura 22 – Média e respetivo erro padrão da % de tempo em que os músculos: vasto lateral, vasto medial e bicípíte femoral, estiveram ativos durante a realização do teste de equilíbrio dinâmico.	52

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Recomendações do ACSM e da AHA para a prática de atividade de fortalecimento muscular, de acordo com Haskell et al (2007) e Nelson et al (2007).	6
Tabela 2 - Programas de treino de força, em função do tipo de contração, delineados por Fleck e Kraemer (2014).	8
Tabela 3 - Vantagens e riscos associados ao treino excêntrico (adaptado de Hody et al., 2019).....	12
Tabela 4 – Localização e orientação dos elétrodos sobre os músculos de interesse (Hermens et al., 1999).	35

Lista de Abreviaturas

ACSM – Colégio Americano de Medicina Desportiva

AHA – Associação Americana do Coração

ARV – Amplitude de Variação

BF – Bicipite Femoral

Ca⁺⁺ – Ião Positivo de Cálcio

CoV – Coeficiente de Variação

DOMS – *Delayed Onset Muscle Soreness*

EMG – Eletromiografia

Hz – Hertz

MID – Membro Inferior Dominante

MIND – Membro Inferior Não Dominante

Ms – Milésimos de segundo

MVC – Contração Máxima Voluntária

N – Newtons

RFD – Taxa de produção de Força

RM – Repetição Máxima

TPFmáx – Taxa de Produção de Força Máxima

VL – Vasto Lateral

VM – Vasto Medial

Introdução

Nos dias de hoje e com o suporte da investigação científica, sabemos que a prática de atividade física pode contribuir benéficamente para quem adota um estilo de vida mais ativo e mais saudável, aliás, desde 1996 (DHHS, 2008) que a inatividade física é evidenciada como um dos malefícios para a saúde, ainda assim sabemos também que se a prática de atividade física não for pensada, organizada, monitorizada e prescrita da melhor forma, rapidamente surgem patologias que vão interferir com a saúde física e mental dos praticantes. Deste modo, as grandes organizações mundiais, europeias e nacionais apresentam várias recomendações gerais que podem ser seguidas tendo sempre o objetivo de melhorar a qualidade de vida das populações.

Teixeira (2017), diretor do Programa Nacional para a Promoção da Atividade Física, declarou ao Público, que a inatividade física em Portugal aparenta ter um custo anual de 900 milhões de euros, para um país em que metade da população é fisicamente inativa.

O objetivo destas medidas preventivas apresentadas pelo ACSM (2011) passa por recomendar tipos de atividade física que podem ser adotadas, de forma a proporcionar uma vida com maior longevidade e melhor qualidade, com menos riscos associados a doenças crónicas, à mortalidade prematura ou até mesmo para evitar futuras limitações funcionais. Estas recomendações são apenas gerais e vêm acrescentar-se às atividades diárias já implícitas na rotina de cada ser humano.

Outro ponto-chave para a promoção da saúde advém também da necessidade de implementar rotinas de treino que impliquem a utilização de resistências ao corpo. Este tipo de treino tem vindo a ser uma preocupação de todos os intervenientes da área científica, no próprio desporto de alta competição como na promoção do exercício físico e melhoria da saúde, devido aos trabalhos de investigação que têm evidenciado as vantagens do treino da força e sugerido a sua aplicação prática para todas as faixas etárias.

Desenvolver um plano de treino torna-se um processo complexo por incorporar diferentes variáveis e princípios de treino (Bird, Tarpenning, & Marino, 2005). Estudos publicados sobre o treino da força têm salientado a importância da adaptação progressiva da força muscular através da manipulação de uma ou mais variáveis do treino.

O treino isotónico parece ser o tipo de treino mais implementado nos ginásios e clubes de saúde por ser fácil de ser aplicado e por fortificar a aptidão muscular de qualquer pessoa em qualquer idade. Este tipo de treino é caracterizado por ações musculares dinâmicas que derivam de contrações musculares concêntricas e excêntricas, contra uma resistência constante ou variável (Heyward, 2010).

O treino excêntrico começa a ter alguma visibilidade e aplicação durante o processo de treino devido às suas vantagens, particularidades e adaptações agudas e crónicas na função neural, na função muscular e principais implicações para a prescrição e para a prática de treino.

O presente projeto de investigação está organizado por capítulos e pela seguinte ordem de apresentação:

- Capítulo I – Revisão da Literatura – Apresentados alguns conceitos sobre a importância do treino da força, tipos de treino e as suas principais implicações para a saúde.
- Capítulo II – Problema Objetivos e Hipóteses – Identificado o problema do estudo, objetivos estabelecidos e as hipóteses.
- Capítulo III – Materiais e Métodos – Identificados os elementos do estudo referentes à caracterização da amostra, desenho do protocolo experimental, materiais e métodos utilizados, bateria de testes aplicados, variáveis estudadas e análise estatística.
- Capítulo IV – Apresentação de Resultados – Exposição dos dados obtidos de forma clara e objetiva.
- Capítulo V – Discussão de Resultados – Análise dos dados, comparação com outros estudos referentes ao mesmo tema e reflexão crítica sobre os mesmos.
- Capítulo VI – Conclusão – Reflexões gerais e finais com base nos objetivos e hipóteses formuladas.
- Capítulo VII – Bibliografia – Referidos os autores utilizados como suporte da revisão da literatura.

Capítulo I: Revisão da Literatura

1. Revisão da Literatura

1.1. O treino da força e suas implicações para saúde

A forma como o Homem produz força tem-se tornado num tema de interesse e de estudo científico (Dziados et al. 2002; Kraemer et al., 2002), não só numa perspetiva de performance motora e rendimento, mas também pelos benefícios e implicações funcionais para a longevidade e qualidade de vida (ACSM, 2002). Assim, a prática de atividade física e exercício planeado são temas cada vez mais estudados, cujas evidências científicas têm demonstrado de forma sustentada as grandes vantagens e benefícios para a saúde de quem adota estilos de vida mais ativos e saudáveis.

Tendo consciência que é necessário monitorizar, orientar e prescrever linhas orientadoras para a prática de exercício físico, têm sido apresentadas algumas medidas preventivas que, de uma forma geral, visam melhorar a qualidade de vida e a saúde geral da população. O Colégio Americano de Medicina Desportiva (ACSM) em conjunto com a Associação Americana do Coração (AHA), em 2007, reestruturaram as recomendações para os jovens adultos e idosos, a partir dos 18 anos de idade, preconizando uma prática semanal de 150 minutos de atividade aeróbia moderada ou 75 minutos de atividade aeróbia vigorosa (ACSM, 2011), que deve ser complementada com 2 sessões de treino de força (Tab. 1) (Haskell et al., 2007; Nelson et al., 2007).

Durante muito tempo, grande parte da investigação concentrou-se no efeito dose/resposta do treino aeróbio e muito pouco se questionava sobre a influência e a aplicabilidade do treino da força na saúde. Atualmente, vários já são os estudos que vêm comprovar que o treino regular com cargas externas também diminui o risco de mortalidade prematura (Zhao et al., 2014) e doença coronária (Caruso et al., 2015; Chen et al. 2014), melhora o perfil lipídico (Theodorou et al., 2016), previne a osteoporose estimulando a densidade mineral óssea através do *stress* mecânico (Hunter, Plaisance & Fisher, 2014) e combinado com o treino aeróbio coadjuva no controlo glicémico, principalmente em diabéticos do tipo II (Earnest et al., 2014) e na própria gestão do peso corporal (Xiao & Fu, 2015).

Tabela 1 - Recomendações do ACSM e da AHA para a prática de atividade de fortalecimento muscular, de acordo com Haskell et al (2007) e Nelson et al (2007).

Atividade de Fortalecimento Muscular			
Faixa	Frequência	Número de Exercícios	Séries e Repetições
Adultos	≥ 2 dias p/semana não consecutivos	8-10 exercícios para os maiores grupos musculares	1 série 8-12 repetições p/exercício
Idosos	2 dias p/semana não consecutivos	8-10 exercícios para os maiores grupos musculares	1 série 10-15 repetições p/exercício

Neste sentido, o interesse sobre o impacto de diferentes metodologias de treino de força tem aumentado substancialmente, tanto entre os membros da comunidade científica, bem como entre profissionais de exercício físico e reabilitação. São inúmeros os métodos e meios que têm sido desenvolvidos nesta área, pelo que importa compreender as adaptações fisiológicas e funcionais causadas pelas mesmas.

Treinar para potenciar o aumento da força não só induz alterações na morfologia e na arquitetura do tecido muscular, como também alterações e adaptações na função neural (Cardinale, Newton, & Nosaka, 2011; Carroll, Selvanayagam, Riek, & Semmler, 2011; Vogt & Hoppeler, 2014). É consensual na literatura que os primeiros ganhos de força resultam de adaptações neurais (6-8 semanas) (Griffin & Cafarelli, 2005; Jones, Rutherford, & Parker, 1989), enquanto que as alterações musculares só começam a ser significativamente visíveis após alguns meses de treino regular (8-12 semanas), mantendo-se um crescimento linear até às 24 semanas (J. P. Folland & Williams, 2007). Isto revela que sistema neural desempenha um papel primordial nos ganhos da força. Assim, a melhoria de força na ausência de hipertrofia muscular foi uma das principais evidências do envolvimento neural em todo o processo (Gabriel, Kamen, & Frost, 2006).

As adaptações neurais, ao treino da força, resultam de alterações no recrutamento, ativação e frequência de disparo das unidades motoras, dos recetores sensoriais, da coordenação motora e transferência unilateral, da ativação dos agonistas e coativação dos antagonistas (Duchateau, Semmler, & Enoka, 2006; Folland & Williams, 2007; Gabriel et al., 2006; Knuttgen et al., 2003; Baecle & Earle, 2008). Na verdade, um sujeito primeiro tem que adquirir bons padrões de coordenação motora, pois só assim conseguirá melhorar a qualidade da ação muscular e aumentar os níveis de força (Vogt & Hoppeler, 2014).

A expressão do movimento depende de fatores neurais e musculares, tais como:
i) o número e tipo de unidades motoras recrutadas, ii) a frequência de disparo de cada

unidade motora, iii) o tamanho muscular, iv) as fibras musculares e o comprimento dos sarcômeros, e v) a velocidade de contração (Kenney, Wilmore, & Costill, 2012).

Do ponto vista das adaptações muscular, enquanto o treino aeróbio potencia o aumento da densidade capilar e mitocondrial (Komi, 2003), o treino da força promove um aumento da área de secção transversal do músculo, do tamanho e número de fibras musculares, principalmente das fibras do tipo II, uma maior ativação das células satélite e a sua proliferação e até uma alteração da tipologia das fibras musculares (Folland & Williams, 2007; Jones et al., 1989).

1.2. Tipos de Treino da Força

A força é uma das capacidades básicas do ser humano e que permite a ação do aparelho locomotor, através da coordenação de processos biológicos bastante complexos. Vários estudos têm sido realizados de forma a entender como se expressa esta capacidade, sendo também apresentados diferentes conceitos de força, do ponto de vista fisiológico e biomecânico.

Desta forma, o conceito “força” é definido como a capacidade que um músculo ou grupo muscular tem em gerar força máxima contrátil, através de uma única contração e caracteriza-se em magnitude, direção e ponto de aplicação (Komi, 2003; Zatsiorsky & Kraemer, 2008). A magnitude da força produzida pelo músculo é essencialmente controlada pelo sistema nervoso central através de dois mecanismos: (1) pelo número de unidades motoras que são ativadas e recrutadas (princípio do tamanho) e (2) pela frequência de descarga dos potenciais de ação de cada unidade motora (Duchateau e Enoka, 2008). Para níveis de produção de força menos intensas, o processo predominante pelo sistema nervoso é o de ativação e recrutamento de mais unidades motoras e para níveis de produção de força mais intensas, em que todas as unidades motoras estão recrutadas ao máximo, a força só pode ser aumentada pelo aumento da frequência de disparo (Moritz, Barry, Pascoe, & Enoka, 2005).

No ponto de vista biomecânico, Zatsiorsky e Kraemer (2006), classificam força como interna – interação entre duas estruturas internas do corpo humano – ou externa – interação entre dois sujeitos ou entre um sujeito e o meio envolvente. A expressão da força externa tem a capacidade de alterar o estado de repouso ou o estado de movimento

de um determinado corpo e a sua aplicação poderá resultar em contrações musculares estáticas ou contrações musculares dinâmicas (Knuttgen, Kuipers, & Renström, 2003). Este é um dos indicadores utilizados pelos técnicos de exercício físico para prescrição dos planos de treino.

Ao percebermos os mecanismos da ação motora voluntária e a sua expressão no músculo-esquelético, verificamos que o movimento normal do corpo humano envolve ações externas positivas e negativas, correspondentes a contrações musculares concêntricas (encurtamento) e excêntricas (alongamento) (Roig et al., 2009; Vogt & Hoppeler, 2014; Fleck & Kraemer, 2014).

Com base nas diferentes manifestações de força (existência de movimento, tipo de contração e aceleração), Fleck e Kraemer (2014) e Kraemer e Ratamess (2004), apresentam linhas orientadoras para diferentes níveis de praticantes, cujo objetivo é promover uma independência funcional da estrutura músculo-esquelética. Os autores dividem a prescrição de rotinas de treino em: (1) treino isométrico, (2) treino de força dinâmica e (3) treino isocinético (Tab. 2).

Tabela 2 - Programas de treino de força, em função do tipo de contração, delineados por Fleck e Kraemer (2014).

Programas de treino da Força	
1. Treino Isométrico	
2. Treino Isotónico Dinâmico	
	<ul style="list-style-type: none"> • Força Máxima • Hipertrofia • Resistência Muscular • Potência
3. Treino Isocinético	
	<ul style="list-style-type: none"> • Força Isocinética • Resistência Isocinética

O treino isométrico ou o treino de força estática é um tipo de treino em que não há movimento e consequentemente a ação muscular não sofre qualquer alteração no comprimento total das fibras musculares (Komi, 2003; Fleck & Kraemer, 2014). Este tipo de treino torna-se bastante útil em programas de reabilitação ou em casos muito específicos de atrofia muscular.

Já o treino isotónico é caracterizado por ações musculares dinâmicas não constantes, de encurtamento (fase concêntrica) e de alongamento (fase excêntrica), contra uma resistência constante ou variável (Fleck & Kraemer, 2014). Este tipo de treino pode

ser o mais adequado para fortalecer a aptidão muscular de qualquer pessoa em qualquer idade e é fácil de ser aplicado. É certo que cada tipo de treino tem as suas vantagens e limitações, no entanto, os exercícios com base em ações dinâmicas são os mais utilizados e desejados pelo facto de propiciarem uma maior transferência para as ações naturais da atividade diária (Hass, Feigenbaum, & Franklin, 2001).

As contrações musculares concêntrica e excêntrica diferem entre si relativamente à solicitação energética, controlo neural, bem como em relação à capacidade de produção de força máxima (Franchi, Reeves, & Narici, 2017). Do ponto de vista biomecânico, a ação muscular concêntrica ocorre quando o momento muscular é superior ao momento da resistência, promovendo o encurtamento e o movimento da carga. Já para a ação muscular excêntrica o momento da resistência é superior ao momento muscular, promovendo o alongamento e desacelerando o peso da carga (Fleck & Kraemer, 2014; Robergs & Roberts, 1997; Duchateau & Enoka, 2008; Enoka, 1996; Vogt & Hoppeler, 2014).

A maioria das ações excêntricas acontecem para resistir à ação da gravidade, obrigando a um processo de coativação entre agonista e antagonista mais acentuado. Este fenómeno facilita o movimento de desaceleração e mantém a articulação estável ao longo da ação (Robergs, & Roberts, 1997; Dartnall, 2009). Este tipo de contração, em que o músculo resiste à desaceleração do movimento permite que haja uma dissipação de energia mecânica sob a forma de energia elástica, resultando num menor trabalho muscular e um menor gasto energético (Franchi et al., 2017; Konow & Roberts, 2015).

2. Treino Excêntrico

2.1. Abordagem ao Conceito

A ação excêntrica tem sido incorporada em metodologias específicas de treino de força (treino negativo) e tem vindo a ser popularizada pelos praticantes de exercício mais experientes e por vários atletas de alto rendimento pela sua relação com a otimização da performance, ganhos de força e prevenção de lesões.

A médio-longo prazo, o treino excêntrico promove melhorias e ganhos na força, na potência, no ciclo de alongamento-encurtamento, no aumento da área de secção transversal do músculo, preferencialmente no aumento do tamanho e na frequência de disparo das fibras musculares do tipo II, melhora a coordenação intermuscular e potencia alterações quantitativas e qualitativas do sistema tendinoso permitindo ao músculo um maior e melhor ciclo de alongamento-encurtamento (Douglas, Pearson, Ross, McGuigan, & Douglas, 2017).

As adaptações neurais, após o treino excêntrico, revelam um envolvimento desproporcional do sistema neural, com um maior contributo, e do sistema muscular para o ganho total de força, durante as fases iniciais de treino (Duchateau & Enoka, 2008; Hedayatpour & Falla, 2015). O sistema nervoso central aplica estratégias neurais distintas para contrações excêntricas comparativamente com as contrações musculares concêntricas e isométricas, (Enoka, 1996; Franchi et al., 2017; Guilhem, Cornu, & Guével, 2010; Hedayatpour & Falla, 2015). Como se verifica em alguns estudos, as contrações excêntricas tendem a ter um recrutamento e frequência de disparo de unidades motoras mais baixo que as contrações concêntricas (Aagaard et al., 2000; Duchateau & Enoka, 2016; Franchi et al., 2017). Verifica-se também uma inibição da atividade eletromiográfica durante a ação excêntrica, tanto a velocidades altas como a velocidades baixas (Aagaard et al., 2000). Em contrações máximas, sujeitos não treinados podem não conseguir uma ativação voluntária total, especialmente na fase excêntrica em que só se atingem valores voluntários de 90%, no entanto estes valores de ativação podem ser melhorados com o treino (Aagaard et al., 2000; Duchateau & Enoka, 2016; Enoka, 1996).

Os comandos neurais sob o efeito do treino excêntrico não só alteram o recrutamento e a frequência de disparo das unidades motoras dentro do próprio músculo, como também afetam a ativação das unidades motoras dos músculos sinergistas e músculos homólogos contralaterais (Enoka, 1996; Riley, Maerz, Litsey, & Enoka, 2008).

Ainda não são totalmente percebidos quais os mecanismos que afetam este défice de ativação, porém alguns autores defendem que o problema pode derivar da tensão excessiva do complexo tendinoso (Aagaard et al., 2000) ou, muito provavelmente de mecanismos de inibição pré- e pós-sinápticos ao nível medular (Duchateau & Enoka, 2016).

Sabendo que a produção de força gerada ao longo do movimento dinâmico atinge o seu pico máximo durante a fase excêntrica, certamente que este tipo de treino é o mais indicado para potenciar o aumento da força muscular (Enoka, 1996; Hedayatpour & Falla, 2015). No entanto, esta metodologia pode também ser mais agressiva para o organismo, quando comparado com o exercício concêntrico e isométrico, pela tensão e micro-lesões que são geradas no alongamento das fibras promovendo uma readaptação do sistema nervoso central à destruição muscular localizada (Fleck & Kraemer, 2014; Butterfield, 2010; Dartnall, Rogasch, Nordstrom, & Semmler, 2009; Hedayatpour & Falla, 2015).

O impacto do deste treino compromete também a capacidade funcional do sistema muscular, como é consensual na literatura, levando ao aumento da lesão celular e ao aumento da sensibilidade à dor muscular após o treino (Semmler, 2014). O decréscimo da força máxima voluntária (MVC), nos primeiros dias após o treino é o melhor indicador de lesão muscular (Warren, Lowe, & Armstrong, 1999) e o detrimento da força é mais duradouro após o exercício excêntrico quando comparado com o exercício isométrico ou concêntrico (Prasartwuth et al., 2005; Hamlin, & Quigley, 2001; Clarkson et al., 1992).

Várias são as adaptações funcionais do sistema nervoso central após o treino excêntrico, como: (1) na redução da ativação da força máxima voluntária (MVC) (Prasartwuth, Allen, Butler, Gandevia, & Taylor, 2006; Prasartwuth et al., 2005), (2) a perturbação do sistema propriocetivo na capacidade em interpretar a posição do segmento (Brockett, Warren, Gregory, Morgan, & Proske, 1997), (3) no aumento da atividade eletromiográfica em forças submáximas (Semmler, Tucker, Allen, & Proske, 2007) e; (4) no aumento da coativação dos músculos antagonistas (Semmler et al., 2007).

Apesar dos riscos associados ao treino excentrico que podem comprometer o funcionamento muscular, tendinosos, articular e neural, as adaptações crónicas a este tipo de treino promove um série de adaptações neurais e musculares que contribui para melhorar várias manifestações da força muscular vários parâmetros da saúde (Tab. 3, adaptado de Hody, Croisier, Bury e Rogister, 2019).

Tabela 3 - Vantagens e riscos associados ao treino excêntrico (adaptado de Hody et al., 2019).

Vantagens	Riscos
Função muscular <ul style="list-style-type: none">- Ganhos de força e massa muscular mais rápidos- Alterações na relação entre alongamento-encurtamento- Aumento da mobilidade e independência- Prevenção da sarcopenia- Diminuição no risco de queda	Destruição muscular <ul style="list-style-type: none">- Alterações na estrutura muscular- Mudanças na permeabilidade da membrana- Destruição na matriz da membrana
Adaptações neurais <ul style="list-style-type: none">- aumento da ativação muscular- diminuição dos níveis de inibição- aumento da excitabilidade cortical	DOMS <ul style="list-style-type: none">- Dor- Inchaço- Rigidez
Parâmetros de saúde <ul style="list-style-type: none">- Aumento da massa muscular e redução da massa gorda- Aumento do sistema oxidativo- Melhorias no perfil lipídico- Aumento da sensibilidade à insulina	Risco de lesão muscular, tendinosa e articular

2.2. Adaptações agudas ao treino excêntrico supramáximo

Quando a atividade praticada é não usual ou demasiado exigente para o sistema músculo-esquelético, principalmente com predominância da ação excêntrica, observam-se mecanismos de lesão celular, que se iniciam nas primeiras 24h, atingindo um pico máximo entre as 24-72h após exercício. Estas alterações provocam um desconforto muscular, mais conhecido como miopatia tardia do exercício (DOMS), alterando as capacidades funcionais do músculo-esquelético (Clarkson et al., 1992; Enoka, 2008; Komi, 2003; Nosaka & Newton, 2002; Souron, Nosaka, & Jubeau, 2018). Esta sensação tende a desaparecer completamente entre 8-10 dias (Clarkson et al., 1992).

São vários os sintomas e os indicadores que advém do treino excêntrico e do processo de miopatia tardia comuns a este tipo de treino, tais como: i) o enfraquecimento muscular e a fadiga comprometem a função muscular e a economia do exercício, ii) a rigidez muscular que compromete a amplitude do movimento, iii) a dor muscular que aumenta a sensação de sensibilidade muscular e, iv) o inchaço que implica uma resposta inflamatória ao exercício (Cardinale et al., 2011).

As ações musculares concêntricas e excêntricas resultam de diferentes mecanismos baseados na “teoria do deslize dos filamentos”, que resulta do deslizamento entre os filamentos de actina e miosina, encurtando ou alongando o músculo, sem alterar o comprimento dos filamentos e mantendo a integridade estrutural do sarcómero (Enoka,

1996; Franchi et al., 2017; Komi, 2003; McArdle et al., 1992). A contração muscular é desencadeada pelo potencial de ação do moto-neurónio e o seu impulso propaga-se pela superfície da fibra muscular e: 1) despolariza os túbulos transversos da junção A-I; 2) despolariza os túbulos T causando a libertação de Ca^{++} ; 3) o Ca^{++} une-se ao complexo troponina-tropomiosina estimulando os filamentos de actina; 4) é quebrada uma molécula de ATP e a actina liga-se à miosina formando tensão; 5) uma nova molécula de ATP liga-se à miosina, é desfeita a ponte cruzada havendo um deslizamento entre os dois filamentos e um encurtamento do músculo; 6) enquanto a concentração de Ca^{++} for alta, o processo de ativação de pontes cruzadas continua; 7) o músculo deixa de ser estimulado, a concentração de Ca^{++} diminui; 8) a remoção de Ca^{++} restabelece a ação inibitória da troponina-tropomiosina, ou seja, “desliga” a ligação entre os filamentos e dá-se o relaxamento do músculo (McArdle et al., 1992).

Durante contrações excêntricas sucessivas, os sarcómeros são excessivamente alongados. Cada vez que o músculo relaxa, muitos dos filamentos de actina e miosina não se voltam a interligar. Estas quebras dos pontos de ligação ocorrem em pontos aleatórios da membrana e a alteração da concentração de cálcio promovido pela rotura da membrana promove alterações na função muscular (Figura 1) (Proske e Allen, 2005).

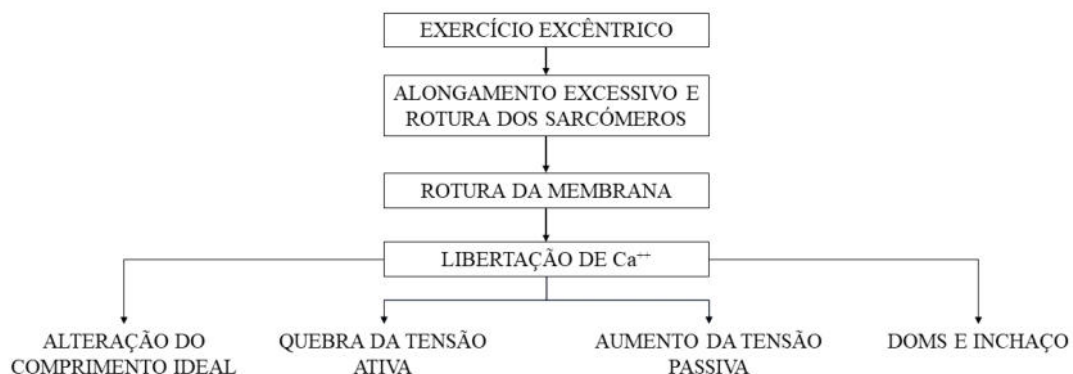


Figura 1 – Processo de destruição muscular pelo treino excêntrico. Eventos sucessivos na destruição das fibras musculares durante a ação excêntrica do exercício (adaptado de Proske e Allen, 2005).

O alongamento excessivo e repetitivo e a grande tensão gerada no músculo levam ao rompimento das unidades estruturais do músculo, principalmente dos sarcómeros e seus constituintes (Dartnall, 2009), provocando uma perda funcional no processo de

contração e excitação e uma diminuição de força de aproximadamente 75%, após o treino excêntrico (Warren, Ingalls, Lowe, & Armstrong, 2001). Além disso, verifica-se uma diminuição do pH intracelular agravando a lesão celular (Hedayatpour & Falla, 2015).

A relação entre a produção de força e o comprimento das fibras é também um ótimo indicador de lesão muscular, essencialmente após a ação excêntrica. Isto porque os sarcômeros que não sofrem rotura são responsáveis por manter os mesmos níveis de tensão muscular para manter os mesmos níveis de força, verificando uma alteração da curva força-comprimento (Proske e Allen, 2005).

Este efeito repetido de alongamento e grande tensão provoca rotura dos sarcômeros e do tecido conjuntivo fazendo com que a estrutura se adapte e tente reduzir o dano muscular provocado (Armstrong, Warren, & Warren, 1991), promovendo o alinhamento dos sarcômeros e protegendo o tecido muscular contra outros danos (Dartnall, 2009).

Durante a síntese proteica e as subseqüentes adaptações ao treino, o papel das células satélite é preponderante para o crescimento muscular (Fry, Kirby, Kosmac, McCarthy, & Peterson, 2017), principalmente na fase de regeneração muscular (Cardinale et al., 2011; Hyldahl, Olson, Welling, Groscost, & Parcell, 2014). Elas servem como células de reserva e quando ativadas migram e unem-se com as fibras potenciando o crescimento muscular (Harridge, 2007). A alteração do padrão funcional e histológico no cerne do músculo, por ação do exercício excêntrico, origina uma maior lesão celular, comparativamente com o treino concêntrico e por consequência uma maior atividade das células satélite nas 24h subseqüentes ao exercício (Hyldahl et al., 2014). Este mecanismo tem sido indicado como um fator de estimulação do aumento da massa muscular, tendo o treino excêntrico ocupado um lugar de relevo entre os culturistas e atletas que pretendem aumentar à massa muscular.

Do ponto de vista neural, o efeito de dor e sensibilidade muscular provocada pelo treino excêntrico comprometem a ativação voluntária e consequentemente a produção de força muscular. Verifica-se uma redução nos valores de força máxima e um aumento nos níveis de atividade de EMG (Prasartwuth et al., 2005; Weerakkody, Percival, Morgan, Gregory, & Proske, 2003). Para manter os mesmos níveis de força, na presença de fadiga e em tarefas submáximas prolongadas, o sistema nervoso aumenta o recrutamento de mais unidades motoras, enquanto que para tarefas máximas, em que todas as unidades motoras

estão ativadas ao máximo, a própria ativação neural decresce por não conseguir corresponder às exigências da tarefa (McArdle et al., 1992).

2.3. Alterações Funcionais

De acordo com Proske e Allen (2005), após aplicadas contrações excêntricas, a produção de força pode manter-se comprometida durante uma semana, devido à presença de fadiga, mas essencialmente devido à lesão muscular. Enquanto que, para ações concêntricas, o organismo necessita de 1-2h após treino para restaurar os valores iniciais de força, para as ações excêntricas, e após 2h de recuperação, os valores basais de força mantêm-se inferiores ao desejado.

Para todos os tipos de contração, imediatamente após o treino, verifica-se uma diminuição da capacidade de produzir força. Contudo, para contrações isométricas e concêntricas, os valores de força são restabelecidos rapidamente, enquanto que o mesmo efeito não se verifica para ações excêntricas nas horas subsequentes (Clarkson et al., 1992). No estudo de Prasartwuth et al. (2005), após o treino excêntrico, o valor da força máxima voluntária isométrica, para os flexores do ombro, diminuiu cerca de 62% comparativamente com o valor pré-teste, contrariamente à atividade eletromiográfica que aumentou cerca de 90% para gerar uma MVC de 50%.

A produção de força máxima (MVC) difere consoante o tipo de contração muscular. Para ações musculares concêntricas, a força diminui cerca de 26% imediatamente após o treino voltando aos valores iniciais após 2h, por outro lado, para ações musculares excêntricas, a força máxima diminui cerca de 46% imediatamente após, recuperando parcialmente após 2h para 30%, sendo necessárias mais que 72h para recuperar totalmente (Enoka, 2008). A força muscular isométrica decaí sobretudo devido à destruição e alteração do comprimento ideal do músculo (Proske e Allen, 2005).

Além de afetar a capacidade contrátil das fibras musculares, a ação excêntrica também condiciona a capacidade do sistema em interpretar a posição dos segmentos por afetar a funcionalidade dos recetores musculares (Proske e Allen, 2005).

A proprioceção parece ser afetada tanto pelo treino concêntrico como pelo excêntrico, no entanto parece sofrer alterações mais significativas após aplicado um treino de ação excêntrica (Walsh, Hesse, Morgan, & Proske, 2004). Estando a força reduzida

após o treino excêntrico, o esforço sentido pelo membro em déficit é aumentado obrigando-o a uma alteração do ângulo de posição do segmento (Walsh, Allen, Gandevia, & Proske, 2006). No estudo de Vila-chã et al., (2011), foram observadas alterações significativas para a magnitude do erro do quadricípite, imediatamente após e no 24h após treino.

Ao se falar em força, é também importante falar em equilíbrio e estabilidade corporal e entender que tipo de alterações ocorrem depois do treino, isto porque todos os exercícios demandam estas duas componentes (Cardinale et al., 2011).

Segundo o estudo de Khan et al., (2016), as grandes alterações de equilíbrio ocorreram 24h após o treino para todas as direções, voltando a valores basais 48h depois do teste. Palmieri et al., (2003), sugerem que o equilíbrio é afetado pela coordenação neuromuscular, pela amplitude do movimento e pela redução da força. O treino excêntrico tem impacto no equilíbrio tanto pela presença de fadiga como pela dessensibilização dos recetores intramusculares (Brockett et al., 1997).

Para sujeitos treinados, a recuperação à resposta aguda é facilitada porque o músculo está preparado para assimilar o estímulo e preparar o músculo a tolerar estímulos idênticos numa mesma tarefa futura (Guilhem et al., 2010).

Capítulo II: Problema, objetivos e hipóteses

3. Problema, objetivos e hipóteses

3.1. Definição do Problema

Devido à especificidade fisiológica e às suas propriedades mecânicas, o treino excêntrico tem despertado o interesse de investigadores e praticante pelas vantagens que este pode acarretar em termos de aumento da produção de força máxima a baixo custo energéticos, tornando este tipo de treino uma alternativa ao treino convencional (Hody, Croisier, Bury e Rogister, 2019).

Grande parte dos estudos que têm surgido sobre esta temática utilizam protocolos de treino com cargas mecânicas isocinéticas (revisão de Wagle et al., 2017). No entanto, este tipo de metodologia, para além de ser dispendiosa, não apresenta uma transferência tão funcional para a performance motora. A utilização de cargas mecânicas isotónicas - em que a resistência externa é constante, mas a aceleração altera-se ao longo do movimento - para além de permitir maior transferência, são as mais populares entre os praticantes de treino de força. No entanto, os estudos sobre o treino excêntrico com tipo de carga são muito limitados, não se compreendendo claramente a magnitude das alterações neuromusculares e funcionais induzidas por este tipo de carga, em particular quando esta é supramáxima. Desta forma, este projeto de investigação tem como propósito estudar as alterações agudas induzidas pelo treino excêntrico isotónico supramáximo acompanhando as suas alterações até às 24h após treino.

3.2. Objetivos

3.2.1. Objetivos Gerais

Este projeto de investigação teve como propósito estudar as alterações agudas na produção de força, na proprioceção e no equilíbrio, induzidas pelo treino excêntrico isotónico durante o período de 24h subsequentes ao treino.

3.2.2. *Objetivos Específicos*

Investigar o efeito agudo do treino excêntrico isotônico supramáximo:

- nos diferentes perfis de força muscular (força máxima, taxa de produção de força e estabilidade de força);
- no equilíbrio dinâmico através da análise dos índices global, ântero-posterior e médio-lateral e perceber qual o contributo neural dos grupos musculares estudados para os vários momentos de avaliação;
- na interpretação da posição segmentar e discutir o seu impacto na proprioceção;
- na atividade eletromiográfica de músculos da coxa [bicípíte femoral (BF), vasto medial (VM) e vasto lateral (VL)].

3.3. Hipóteses

Após uma sessão de treino excêntrico isotônico máximo dos extensores do joelho, verifica-se:

H1 – um aumento da sensação de dor, medida através da escala visual analógica da dor, nas 24h após o treino;

H 2 – que os músculos VL e VM são os músculos com maior miopatia sentida pelos sujeitos, 24h após treino;

H 3 – um decréscimo acentuado e imediato da máxima isométrica que se prolonga, pelo menos, até às 24h subsequentes;

H 4 – um decréscimo da taxa de produção de força que se prolonga, pelo menos até às 24h após treino;

H5 – uma redução da estabilidade de produção de força, não recuperando para valores basais nas 24h subsequentes;

H6 – relativamente à estabilidade de produção de força, o impacto do treino em causa é maior para as tarefas cuja produção de força é mais baixa;

H7 – uma diminuição do equilíbrio dinâmico, medido através dos índices de estabilidade global, ântero-posterior e medio lateral, imediatamente após treino e nas 24h subsequentes;

H8 – o deslocamento médio-lateral apresenta uma maior alteração dos padrões de equilíbrio em relação ao padrão ântero-posterior, imediatamente e 24h após treino;

H9 – uma perturbação da proprioção da posição do joelho imediatamente e após 24h, em que os sujeitos passam a assumir posições angulares de maior magnitude (avaliado através da magnitude de erro) e apresentam maior variabilidade da resposta (avaliado através do erro constante);

H10 – para a taxa de produção de força, os valores de ativação durante os primeiros milésimos de segundos são substancialmente aumentados pela aplicação do treino de força excêntrica, comparativamente ao pré-teste e ao 24h após exercício;

H11 – que as alterações da taxa e da estabilidade de produção de força dos extensores do joelho são acompanhadas por um aumento da ativação muscular dos vastos lateral e medial e do bicípite femoral;

H12 – que as perturbações do equilíbrio dinâmico foram acompanhadas por um aumento da ativação muscular dos vastos lateral e medial e do bicípite femoral.

Capítulo III: Materiais e Métodos

4. Materiais e Métodos

4.1. Caraterização da Amostra

Para a concretização deste projeto de investigação fizeram parte da amostra 15 jovens adultos voluntários praticantes de exercício físico, 9 rapazes e 6 raparigas, estudantes do curso de Licenciatura em Desporto e de Mestrado em Ciências do Desporto do IPG, com uma idade média de $23,20 \pm 2,83$ anos, uma massa corporal de $63,84 \pm 8,41$ Kg, uma estatura de $169,3 \pm 6,51$ cm e sem qualquer patologia no membro inferior dominante que compromettesse a integridade física durante as sessões de avaliação. Todos os procedimentos foram realizados de acordo com a Declaração de Helsínquia, nos que diz respeito à pesquisa em seres humanos.

4.2. Desenho do protocolo experimental

Em consonância com os objetivos estabelecidos para o presente estudo, o protocolo experimental implicou a definição de três sessões laboratoriais.

A primeira sessão serviu para: (i) informar sobre a importância da participação neste projeto de investigação e obtenção do consentimento informado (Anexo 1); (ii) recolher os dados iniciais para a caraterização da amostra (idade, altura, género e massa corporal); (iii) avaliar a força máxima dinâmica do membro inferior dominante (MID) e; (iv) familiarizar os sujeitos com todos os testes de equilíbrio, proprioção e de força. Esta primeira sessão decorreu, pelo menos, 48h antes da segunda sessão e teve uma duração média de 40 minutos por sujeito.

Na segunda e terceira sessão foram avaliadas as alterações neuromusculares agudas induzidas pelo treino isotónico excêntrico (diferentes *outputs* da performance motora e do padrão de ativação muscular). Assim, na segunda sessão foi aplicado o treino e foram feitas as avaliações da função neuromuscular pré e imediatamente após treino. Na terceira sessão, 24h após, realizou-se a última avaliação da função neuromuscular (Figura 1).

Todos os dados foram recolhidos no IPG, sendo disponibilizada a sala de musculação do ginásio e os laboratórios de avaliação antropométrica e de avaliação biomecânica para a recolha.

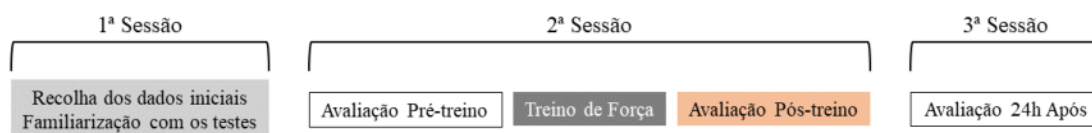


Figura 2 - Definição e esquematização do protocolo experimental aplicado nas três sessões laborais.

Sessão de avaliação da força máxima e de familiarização com o protocolo experimental

Num primeiro contacto com os sujeitos foi-lhes explicado quais os propósitos do projeto de investigação, esclarecidas algumas questões colocadas pelos mesmos e obtido o consentimento informado seguindo as normas de ética da Declaração de Helsínquia.

De seguida foram registados os valores de massa corporal, através de uma balança analítica (Seca, modelo 750) e os valores de estatura, seguindo o protocolo ISAK para estas medições antropométricas.

Posteriormente, e por forma a garantir a integridade física dos sujeitos, foi estimada a força máxima dos extensores do joelho no exercício de extensão da perna (máquina *leg extension*) através do teste indireto das 3 repetições máximas (RM). O protocolo de avaliação respeitou os seguintes procedimentos (Earle & Baechle, 2003):

1. Aquecimento global de 5 minutos na bicicleta com uma carga aproximadamente de 5 de percepção subjetiva de esforço (PSE), numa escala de 1-10 valores;
2. Após um 1 minuto de recuperação, os sujeitos realizaram um aquecimento específico para o membro inferior dominante na máquina extensora e com uma carga inicial de 50% de 1RM realizaram 10 repetições;
3. Após 1 a 2 minutos de recuperação, a carga foi aumentada cerca de 10% e foi-lhes dada a indicação para executarem 5 repetições, no máximo. Esta etapa foi repetida cerca de 3 a 4 vezes variando de sujeito para sujeito;

4. À medida que os sujeitos iam superando a carga que lhes era imposta, quando executavam apenas 4 repetições, na próxima série a carga era aumentada mais 5% e os sujeitos tinham que realizar pelo menos 3 RM;

A força máxima foi estimada com base na equação de regressão linear apresentada por Lombardi (1989).

No final da sessão, os sujeitos foram submetidos a um processo de familiarização com os protocolos de avaliação e com os testes propriamente ditos pela seguinte ordem:

- Teste de equilíbrio dinâmico;
- Teste de propriocepção;
- Teste de contração máxima voluntária;
- Teste de força explosiva;
- Teste de estabilidade de força (*force steadiness*).

4.3. Procedimento experimental

Na sessão experimental os sujeitos foram submetidos a uma bateria de testes, pela mesma ordem de realização que na sessão de familiarização, tal como referido anteriormente.

As avaliações para as sessões Pré, Pós e 24h após Treino Excêntrico Isotônico foram construídas com base nos mesmos procedimentos, como está esquematizado na Figura 3.

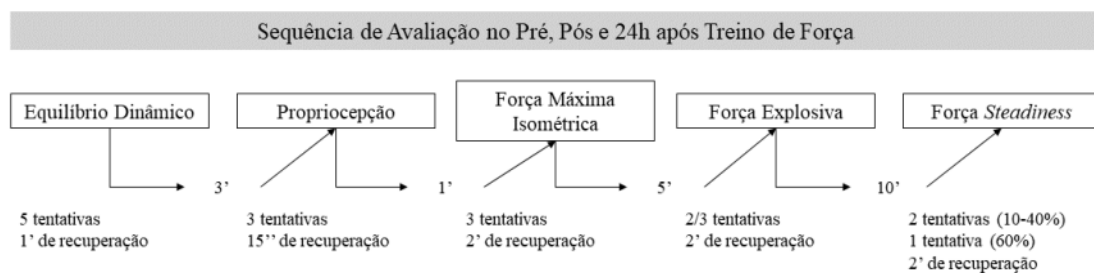


Figura 3 - Sequência de testes de avaliação aplicados no Pré, Pós e 24h após treino excêntrico isotônico.

Sucintamente, e após limpeza da pele e colocação dos elétrodos e da matriz nos sujeitos, começámos por registar os valores do equilíbrio dinâmico, durante 5 tentativas e com um intervalo de recuperação de 1 minuto entre tentativas. Dado por terminado este teste e após 3 minutos de intervalo, avaliámos a propriocepção em 3 tentativas e com um intervalo de descanso de 2 minutos entre tentativas. Por fim, procedemos ao registo dos dados da: i) a força máxima isométrica (3 tentativas); ii) força explosiva (2-3 tentativas); e iii) a estabilidade da força (2 tentativas para as percentagens de 10, 20%, 30% e 40% e 1 tentativa para os 60%). Estimou-se o mesmo intervalo de recuperação de 2 minutos entre tentativas para os três testes de força.

Durante os testes de equilíbrio dinâmico e das várias manifestações da força foram recolhidos dados cinéticos e de atividade eletromiográfica (EMG) em simultâneo. Nas subsecções que se segue descrevem-se os procedimentos seguidos para cada uma das avaliações realizadas.

4.4. Equilíbrio Dinâmico

Para avaliar o equilíbrio dinâmico dos sujeitos, foi utilizada a *Biodex Balance Sytem* (modelo 945-300). Os sujeitos foram instruídos para colocar o apoio do membro inferior dominante no centro da plataforma. Após registo da direção e do ângulo do pé de apoio na plataforma, pediu-se que o outro membro fosse elevado sem que permanecesse em contacto com qualquer superfície durante 20 segundos. Mantendo o corpo direito e os membros superiores laterais ao corpo, deu-se início ao teste (Figura 4).

O nível de dificuldade do teste do sistema *Biodex Balance* progrediu do nível 8 para o nível 2.

O teste foi realizado 5 vezes consecutivas e com um intervalo de recuperação entre tentativas de 1 minuto e permitiu-nos avaliar o índice global de equilíbrio do membro inferior dominante, o índice de deslocamento ântero-posterior e medio-lateral.

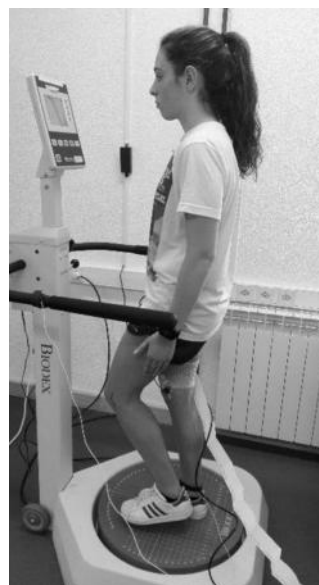


Figura 4 - Avaliação do equilíbrio dinâmico para o membro inferior dominante (MID) na *Biodex Balance System*.

4.5. Teste de Proprioção

O teste de proprioção foi realizado 3 minutos após o teste de equilíbrio dinâmico. Para este teste, os sujeitos permaneceram sentados numa cadeira, formando um ângulo de aproximadamente 90° entre a coxa e a perna. O participante permaneceu de olhos vendados e os membros inferiores permaneceram suspensos, sem contacto com qualquer superfície (Figura 5). Foram colocados marcadores no côndilo externo do fémur, no fémur (aproximadamente 20 cm acima do joelho) e na tíbia (aproximadamente 20 cm abaixo do joelho) para posterior identificação do ângulo do joelho.

O protocolo consistiu em colocar o membro inferior não dominante (MIND) a 130° de amplitude, através da medição manual com um goniómetro. Posteriormente foi solicitado ao participante para posicionar espacialmente o MID na mesma amplitude em que se encontrava o MIND. Este teste foi realizado 3 vezes consecutivas com um intervalo de 15 segundos de descanso entre repetições.

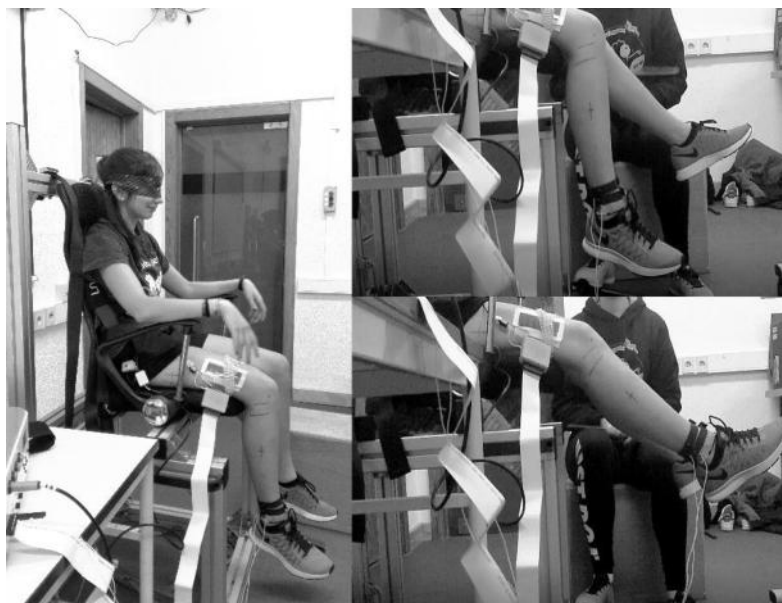


Figura 5 - Avaliação da proprioção para o MID na cadeira customizada (INEGI–UP).

As execuções foram registadas através de imagem vídeo, com uma câmara fotográfica, posicionada perpendicularmente ao sujeito a 2 metros da cadeira customizada. A amplitude articular foi posteriormente avaliada através do programa Kinovea (versão 0.8.15). Para o bloco de tentativas obtido em cada momento de avaliação (Pré, Pós e 24h após treino) foram calculados os erros: (i) absoluto (dá-nos informação sobre a magnitude do erro), (ii) constante (indica a direção do erro) e; (iii) variável (indica a variabilidade da resposta motora do sujeito), seguindo o protocolo definido em Vila-Chã et al. (2011).

4.6. Testes de avaliação força muscular

4.6.1. Força Máxima Isométrica

A força isométrica dos extensores do joelho foi avaliada com o sujeito sentado numa cadeira customizada (INEGI–UP), com os braços cruzados em frente ao peito e com o tronco e anca seguros à cadeira por um conjunto de cintos, devidamente ajustados e adaptados a cada sujeito. O sujeito permaneceu com o membro inferior dominante suspenso, mantendo um ângulo, entre a coxa e a perna, de 90°. O sujeito permaneceu com o membro inferior dominante suspenso, mantendo um ângulo, entre a coxa e a perna, de

90°. Nesta posição foi colocada uma fita ajustável em volta da região tibiotársica do MID, que se encontrava presa a uma célula de carga (SENSOR, modelo load cell 614, Reino Unido) e esta por sua vez fixa à parte posterior e inferior da cadeira. O membro não avaliado foi mantido em flexão, apoiado numa caixa de madeira, tendo sido dada a instrução para não exercer qualquer força sobre a mesma (Figura 6).



Figura 6 - Avaliação da força máxima isométrica para o MID na cadeira W2C

Os sujeitos foram instruídos para produzirem força contra a fita almofadada, de forma gradual e progressiva de modo a que terminassem o teste com a sua força máxima. Cada sujeito realizou 3 repetições, com uma duração máxima de 5 segundos e com um intervalo entre de repetições de 2 minutos, aproximadamente. As tentativas foram registadas manualmente em Newtons (N), informação essa dada pelo amplificador da célula de carga. Os dados analógicos (em Volts) foram também recolhidos (através do amplificador de EMG – USB2+, OT Bioelettronica, Itália) e registados através do *software* OT Biolab (OT Bioelettronica, Itália).

4.6.2. Força Explosiva

Na sequência do teste anterior, e após 5 minutos de recuperação, foi avaliada a força explosiva dos extensores do joelho do MID, nas mesmas condições que o teste anterior. A cada sujeito foi solicitado que realizassem a sua máxima força contra a fita, no menor tempo possível. Contrariamente às informações dadas para o teste anterior, assim que era dada a instrução verbal para iniciar o teste, os sujeitos tinham que aplicar a

máxima força possível contra a resistência. Cada sujeito realizou 2 tentativas, com uma duração máxima de 3 segundos e com um intervalo entre repetições de 2 minutos de recuperação. Novamente registadas as tentativas manualmente (N) e digitalmente através do amplificador e *software* da OT Bioelettronica, Itália.

4.6.3. Estabilidade de força (*Force Steadiness*)

O teste de estabilidade de força foi realizado 10 minutos após o teste de força explosiva. Na mesma posição descrita para o teste de força máxima, foi pedido aos sujeitos que realizassem contrações isométricas submáximas a diferentes intensidades (10%, 20%, 30%, 40% e 60% da MVC), mantendo-a o mais estável possível por um determinado período de tempo. Foi pedido a cada sujeito que fizesse coincidir, quer no tempo quer em intensidade, o seu sinal de força com uma forma trapezoide apresentada num monitor colocado à sua frente (a 1,5 m de distância, posicionado à altura do seu olhar) (Fig. 7A). Para este efeito foi dado *feedback*, em tempo real (Fig. 7B).

A forma trapezoide apresentada no monitor implicou que, cada sujeito:

- demorasse 10 segundos a atingir, de forma progressiva e constante, o nível de força pretendido;
- mantivesse, por 15 segundos, a produção de força no nível pretendido, o mais estável possível;
- demorasse 10 segundos a diminuir gradualmente a produção de força até zero.

Cada sujeito realizou 2 tentativas para os patamares de força isométrica a 10%, 20%, 30% e 40% e 1 vez para 60%, tendo um intervalo de 2 minutos entre cada repetição. A força submáxima requerida em cada patamar foi sempre relativizada à força máxima avaliada dentro do mesmo momento de avaliação. EM simultâneo foi recolhido sinal de EMG e o sinal de força (amplificador e *software* da OT Bioelettronica, Itália).

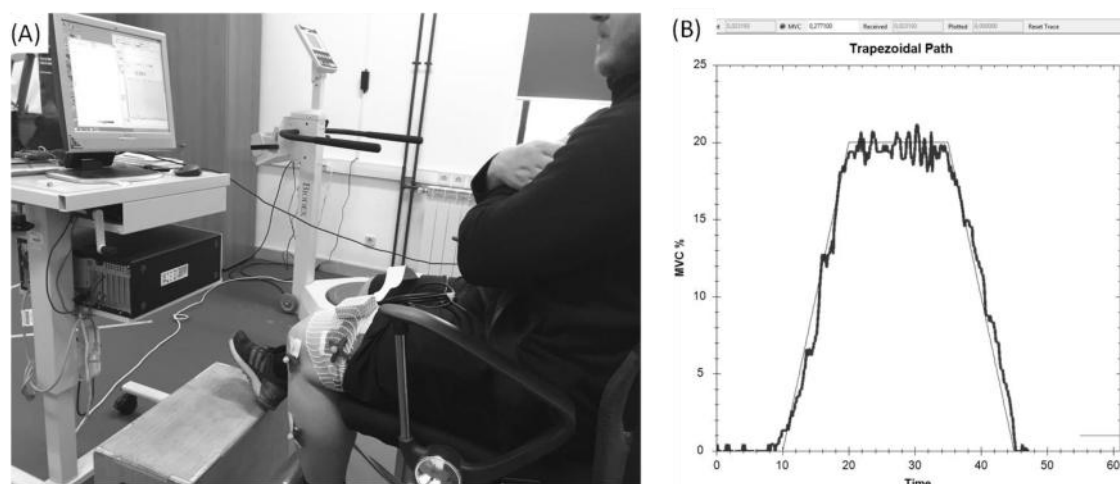


Figura 7 - Avaliação da estabilidade da força a 30% da MVC, na cadeira customizada INEGI-UP, em que: A) mostra o sujeito a olhar para o monitor e B) é produção de força em tempo real.

4.6.4. Sessão de treino excêntrico isotônico supramáximo

Após o primeiro momento de avaliação, cada sujeito foi submetido a uma sessão de treino excêntrico isotônico. O treino foi somente aplicado ao membro inferior dominante, limitado apenas à ação excêntrica do movimento. Para este efeito foi utilizada uma máquina extensora de joelhos que permite o trabalho unilateral dos segmentos (Panatta) (Figura 8).



Figura 8 - Aplicação do protocolo da sessão de treino excêntrico isotônico supramáximo, unicamente para o membro inferior dominante. A subida da carga era puxada por um ajudante para evitar ação concêntrica em carga do membro inferior dominante.

O treino foi administrado consistiu na execução de 4 séries, cada uma com 10 repetições, com uma carga de 120% da 1RM (estimada pelo teste de 3RM anteriormente descrito) (Dziados et al., 2002) e com um intervalo de recuperação de 1 minuto e 30 segundos entre séries.


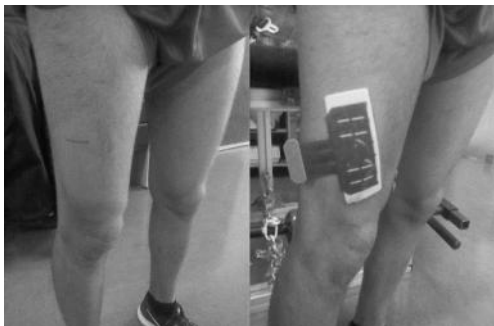

Para a execução do padrão técnico desejado, e de forma a garantir a integridade física dos sujeitos, foram estabelecidos os seguintes critérios de êxito:

- 1) Sentados com as costas bem apoiadas no banco da máquina, a almofada foi ajustada individualmente, de forma a que cada sujeito se sentisse confortável para realizar o movimento;
- 2) De seguida, foi-lhes explicado para se preocuparem unicamente em aguentar a carga, ou seja, só exercer força durante a fase descendente (ação excêntrica), por um período de 2 segundos;
- 3) A amplitude articular foi estabelecida entre 180° (joelho completamente estendido) e 90° de flexão do joelho;
- 4) O membro inferior não dominante permaneceu parado, em posição neutra, apoiado na almofada do lado correspondente;
- 5) A movimentação da carga durante a fase ascendente (ou seja, durante a fase concêntrica) foi assegurada por um ajudante, tendo o sujeito apenas que se preocupar em trazer o seu segmento até à posição inicial da ação excêntrica;
- 6) Ao final de cada série foi registada a PSE sentida por cada sujeito.

4.7. Recolha do Sinal Eletromiográfico e do sinal de força

De forma a melhor compreender as alterações neuromusculares induzidas pelo treino excêntrico, foi recolhida atividade muscular através de um sistema de eletromiografia (EMG) de superfície (EMG – USB2+, OT Bioelettronica, Itália). A atividade eletromiográfica do vasto medial (VM) e bicipite femoral (BF) foi recolhida através de dois pares de elétrodos (superfície Ag-AgCl; área condutora 28 mm²; Ambu Neuroline, Copenhague, Dinamarca), enquanto que a atividade do vasto lateral (VL) foi recolhida através de uma matriz de 64 canais (13linhas × cinco colunas; diâmetro dos sensores de 1 mm, revestido a ouro, distância inter-eletrodo (IED) 8 mm; OT Bioelettronica, Itália). Os elétrodos foram colocados sobre os músculos, após a depilação e remoção das células mortas da pele, e obedeceu às recomendações emanadas do projeto SENIAM (Hermens, Freriks, Merletti, Stegeman, Blok, Rau, Disselhorst-Klug & Hagg, 1999; Barbero, Merletti & Rainoldi, 2012) (Tabela 4).

Tabela 4 – Localização e orientação dos elétrodos sobre os músculos de interesse (Hermens et al., 1999).

Músculo	Localização e orientação	Imagem
Vasto Medial (VM)	A 80% do comprimento entre o bordo proximal da patela e a espinha ilíaca ântero-superior. Orientação: perpendicular à linha traçada	
Vasto Lateral (VL)	A 2/3 do comprimento entre o bordo proximal da patela e a espinha ilíaca ântero-superior; Linha perpendicular traçada a 20° do côndilo patelar e marcação do ponto a 4,3 cm a partir da interseção. Orientação: oblíqua a 20° do côndilo patelar	
Bicípíte Femoral (BF)	A 50% do comprimento entre a tuberosidade isquiática e o côndilo lateral tibial. Orientação: perpendicular à linha traçada	

Após todas as marcações e colocação dos elétrodos, para garantir que estes não se descolavam durante os testes, foram colocadas fitas adesivas sobre os mesmos. Foram também colocadas fitas humedecidas em redor do tornozelo de cada sujeito que serviram como elétrodos de referência terra. Este sinal foi posteriormente utilizado para remover/reduzir o ruído e o campo eletromagnético do sinal de EMG. Os sinais de EMG do BF e VM foram amplificados como derivações bipolares (amplificador EMG, LISiN-OT BIOelettronica, Torino, Itália), e os sinais da matriz foram recolhidos em configuração monopolar. Os sinais foram filtrados com um passa banda (-3dB, 10-500 Hz), amostrados a 2048 amostras/s, e convertidos em dados digitais por uma placa conversora A/D de 12 bits. Os sinais de força foram medidos com da célula de carga (sensibilidade de carga = 0,0048 V/N; SENSOR, *load cell* 614, Reino Unido), cujo sinal

analogico foi injetado no amplificador de EMG através de um canal auxiliar, permitindo assim a recolha simultânea da força e sinais de EMG.

4.8. Análise e tratamento do Sinal de força

O sinal analógico advindo da célula de carga (em Volts) foi posteriormente tratado e convertido em força (N) através de rotinas escritas em Matlab (Mathworks®, versão R2013a). Os sinais obtidos durante as contrações isométricas explosivas permitiram aceder à taxa de produção de força máxima (TPFmáx) através do cálculo do declive máximo da curva força-tempo (Fig. 9). Previamente foi identificado o momento de início da produção da força, definido como o momento em que o sinal de força ultrapassou 3 vezes o desvio padrão calculado para uma janela de 100 amostras situadas no início do ficheiro de força. Foram também calculadas a média dos declives curva força-tempo para os seguintes intervalos: 0-30, 0-50, 0-100 e 0-150 e 0-200ms ($\Delta\text{força}/\Delta\text{tempo}$).

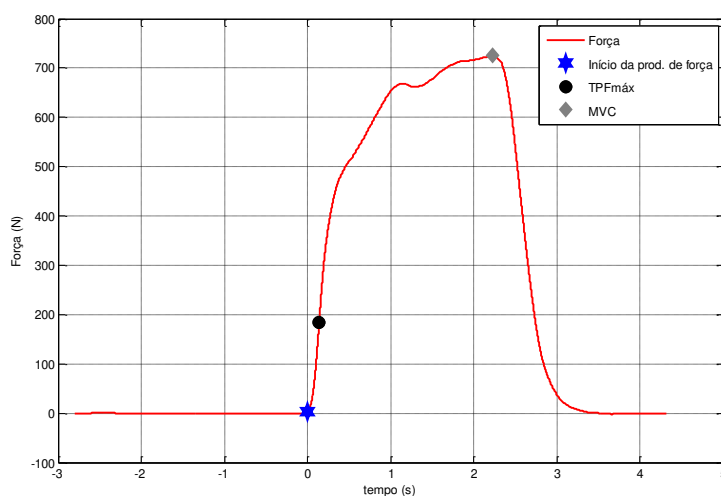


Figura 9 – Representação da identificação do início da produção de força, taxa de produção de força máxima (TPFmáx) e força máxima isométrica (MVC), durante as contrações isométricas explosivas.

Para estudar a estabilidade da produção de força, foi calculado o coeficiente de variação de força (CoV) durante um período de 10 segundos centrados na parte de plateau do trapezoide de força (Fig. 10). O CoV foi calculado dividindo o desvio padrão do sinal de força pelo o valor médio e multiplicado por 100 $[(SD/média)*100]$. O CoV foi calculado para todas as intensidades submáximas estudadas (10, 20, 30, 40 e 60% da MVC).

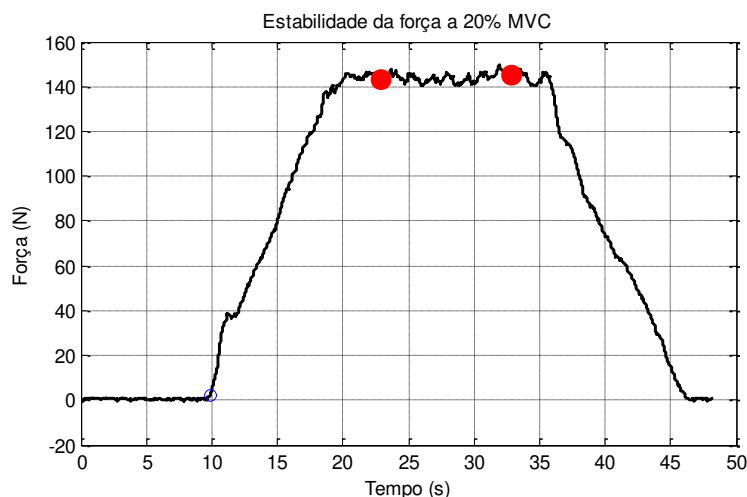


Figura 10 – Representação da identificação do intervalo do sinal e força para calcular o coeficiente de variação da força a diferentes intensidades de força (intervalo definido pelos dois círculos vermelhos). Neste exemplo a 20% da força máxima isométrica (MVC).

4.9. Análise e tratamento do Sinal Eletromiográfico

Para analisar amplitude do sinal de EMG recolhido dos vários músculos, procedeu-se à filtragem do sinal (filtro passa-banda *Butterworth* 10-400 Hz) e sua retificação. Posteriormente, calculou-se o valor médio retificado (ARV) (Hermens et al., 1999). Durante a contração isométrica máxima, o ARV foi calculado através de uma janela de 250ms centrada no pico máximo de força. Estes valores foram posteriormente utilizados para a normalização do ARV calculado a partir dos sinais de EMG recolhidos durante as várias tarefas de avaliação (explosivas e submáximas).

Durante a contração explosiva o ARV foi calculado em duas janelas temporais situadas em momentos distintos da curva força-tempo: (i) nos 50ms que precedem o momento de início da produção de força e; (ii) janela de 50ms centrada em torno da taxa máxima de produção e força.

Para as tarefas submáximas, o ARV dos sinais de EMG foram calculados em janelas móveis não sobrepostas de 1s, durante 10s centrados na fase de plateau do trapezoide da força a diferentes intensidades.

Posteriormente os valores de ARV calculados, para cada músculo e tarefa, foram normalizados ao ARV do respetivo músculo obtido durante a MVC $[(\text{ARV}_{\text{tarefa}}/\text{ARV}_{\text{MVC}}) \times 100]$.

4.10. Variáveis

No estudo foram identificadas as seguintes variáveis:

a) Dependentes:

- Equilíbrio dinâmico (índices globais; ântero-posterior e médio lateral);
- Proprioção (erro absoluto, variável e constante na determinação da posição do joelho de olhos fechados);
- Força máxima isométrica;
- Taxa de produção de força (valor máximo e valor médio para os intervalos 0-30, 0-50, 0-100, 0-150 e 0-200ms);
- Estabilidade da Produção da força (CoV) durante contrações submáximas (10%, 20%, 30%, 40% e 60% MVC);
- Atividade eletromiográfica (ARV) do VL, VM e BF durante as ações explosivas e submáximas.

b) Independentes:

- Tempo de recuperação (pré, pós e 24h).

4.11. Análise Estatística

O tratamento estatístico compreendeu dois tipos de análise. Numa primeira fase realizou-se uma análise exploratória e descritiva dos dados. Posteriormente efetuou-se a análise inferencial dos mesmos. Os procedimentos estatísticos foram realizados com o programa STATISTICA (versão 10 da Stat Soft. Inc., Estados Unidos da América). No que diz respeito à análise exploratória e descritiva, foram utilizados os parâmetros de tendência central (média) e de dispersão (desvio padrão, coeficientes de variação e erro padrão). Foi também realizada a análise das curvas de normalidade da distribuição através do teste Shapiro- Wilk (nível de significância de 5%). Adicionalmente, foi realizado o teste de esfericidade de Mauchly, para averiguar se o pressuposto variâncias iguais e correlações nulas foi violada. Sempre que assunção de esfericidade foi violada, fez-se ajuste para Greenhouse-Geisser (se o valor de G-G < 0,7) ou para Huynh-Feldt (quando o valor de Elipson > 0.7). O nível de significância foi determinado para $p \leq 0,05$. Os efeitos do treino excêntrico sobre as diferentes variáveis dependentes foram estudados

através da aplicação do Modelo Geral Linear para medidas repetidas (fator com 3 níveis: pré, pós e 24h após). Sempre que a hipótese nula (igualdade de variâncias entre células) foi rejeitada, estabeleceram-se comparações múltiplas à *posteriori*, recorrendo ao teste *Newman-Kleus*. Em todos os procedimentos estatísticos foi adotado o nível de significância de 5% ($p \leq 0,05$).

Capítulo IV: Apresentação dos resultados

5. Apresentação dos Resultados

5.1. Percepção de dor nas 24h após treino excêntrico

24h após o treino excêntrico isotônico supramáximo, 73,33% dos sujeitos reportaram dor na região do vasto lateral e 80% no vasto medial. 60% dos sujeitos reportaram também dor nas regiões dos isquiotibiais (Fig. 11). Numa escala de 0 a 10, os voluntários classificaram, em média, a intensidade da sua dor em $3,6 \pm 2,6$.

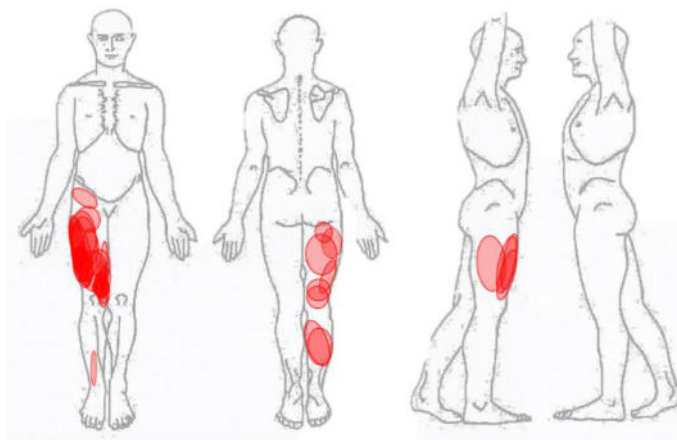


Figura 11 - Regiões de dor assinaladas pelos voluntários do estudo nas 24h subsequentes ao treino excêntrico. Foi pedido a cada sujeito que desenhasse a região em que sentiu dor durante a realização de atividades regulares do dia-a-dia (ex: caminhar, descer escadas).

5.2. Força máxima isométrica dos extensores do joelho

A produção de força máxima isométrica dos extensores do joelho sofreu um decréscimo significativo imediatamente após treino de força excêntrica ($-17,9\%$; $P < 0.001$) e nas 24h subsequentes ao mesmo ($-13,6\%$; $P < 0.001$), comparativamente com os valores do pré-treino ($632,88 \pm 43,58$ N) (Fig. 12).

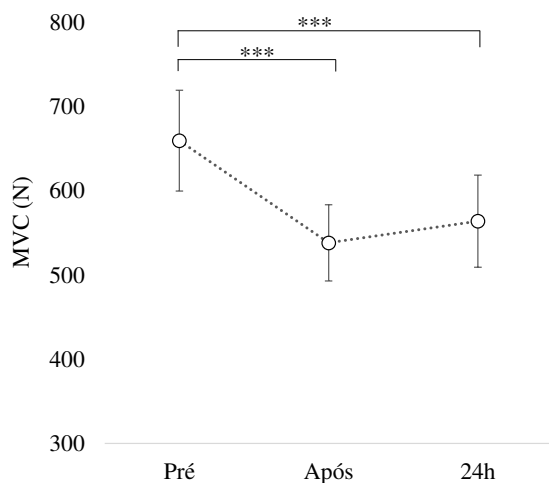


Figura 12 – Média e erro padrão da força máxima isométrica dos extensores de joelhos (MVC) registada antes (pré), imediatamente após (após) e 24h após treino excêntrico isotónico. *** - $P \leq 0,001$.

5.3. Taxa de produção de força dos extensores dos joelhos

Tal como se observou para a MVC, a taxa de produção de força máxima também reduziu substancialmente imediatamente após o treino (11,3%; $P = 0,01$) e manteve-se reduzida nas 24h que se seguiram ao treino (-12,5%; $P = 0,006$) (Fig. 13).

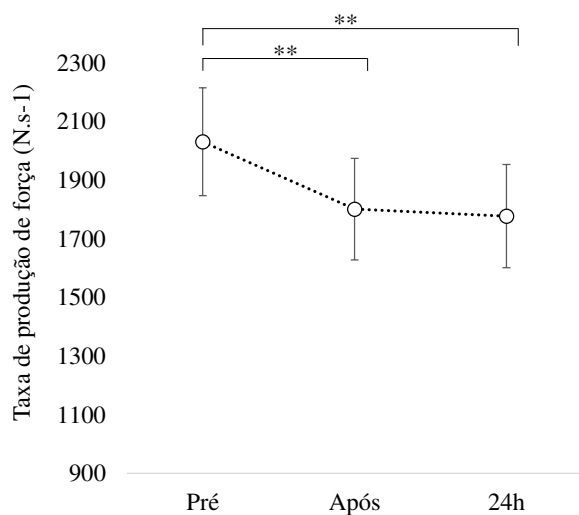


Figura 13 – Média e erro padrão da força máxima isométrica dos extensores de joelhos (MVC) registada antes (pré), imediatamente após (após) e 24h após treino excêntrico isotónico. *** - $P \leq 0,01$.

Quanto aos valores médios da taxa de produção de força para os diferentes intervalos temporais em estudo (0-30ms, 0-50ms, 0-100ms, 0-150ms e 0-200ms), embora estes tenham apresentado um ligeiro decréscimo após treino e nas 24h subsequentes, as alterações não foram estatisticamente significativas (Fig. 14).

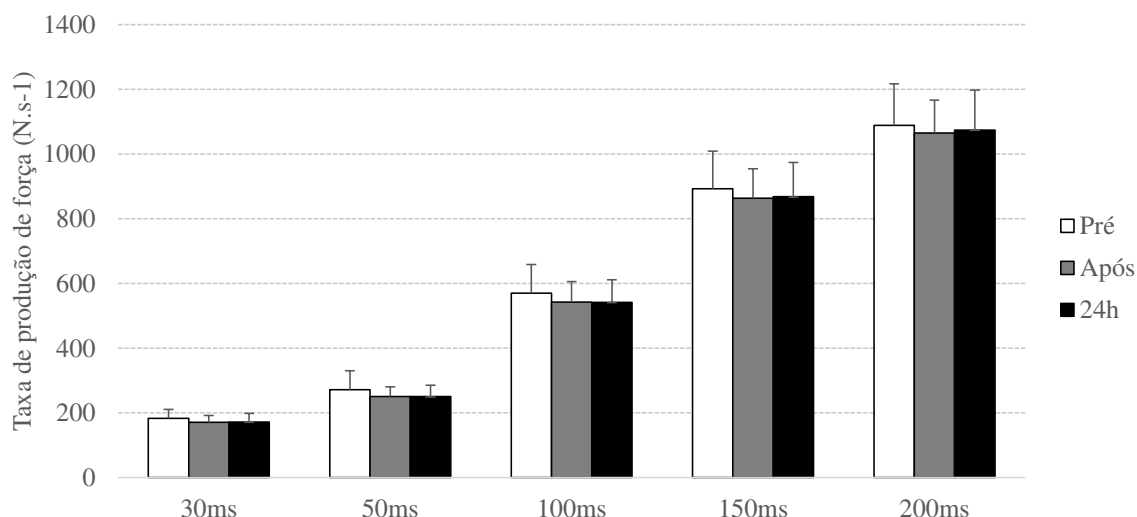


Figura 14 – Média e erro padrão do valor médio da taxa de produção de força registada antes (pré), imediatamente após (após) e 24h após treino excêntrico isotônico, para os seguintes intervalos temporais: 0-30ms, 0-50ms, 0-100ms, 0-150ms e 0-200ms.

5.4. Estabilidade da produção de força (*force steadiness*)

A Figura 15 apresenta o valor médio do coeficiente de variação da força (CoV), em função da intensidade da contração isométrica (10%, 20%, 30%, 40% e 60% da MVC; Fig. 15A) e em função do momento de avaliação (pré, após e 24h após treino; Fig. 15B).

A análise dos dados mostrou que o coeficiente de variação da força varia em função da intensidade da contração ($P \leq 0,001$). De acordo com os resultados estatísticos o CoV avaliado a 10% da MVC é significativamente superior ao observado a 20 e 30% da MVC ($P = 0,012$ e $P = 0,038$, respetivamente). Na contração a 60%MVC, verificou-se um CoV significativamente superior ao observado a 20 e 30% ($P = 0,020$ e $P = 0,049$, respetivamente).

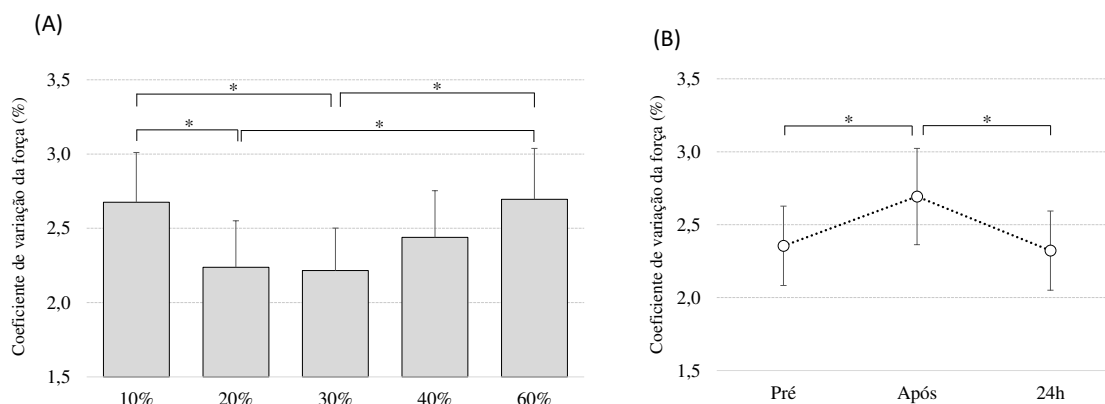


Figura 15 – Média e erro padrão do valor médio do coeficiente de variação da força (CoV), em função: (A) da intensidade da contração isométrica; (B) do momento de avaliação (pré, após e 24h após treino). * $P \leq 0,05$.

Ao comparar o CoV da força observado a todas as intensidades, entre os três momentos temporais, verificou-se que, imediatamente após o treino excêntrico isotônico este parâmetro aumentou significativamente (+14,7%; $P = 0,025$) tendo voltado a valores basais nas 24h subsequentes ao treino (Fig. 15B).

Não se verificou um efeito intensidade*tempo ($P = 0,657$). No entanto, ao analisar separadamente o CoV da força para cada uma das intensidades de contração, observou-se que para as intensidades 10 e 20% o CoV da força foi significativamente superior imediatamente após treino ($P = 0,014$), regressando a valores basais nas 24h após o treino (Fig. 16).

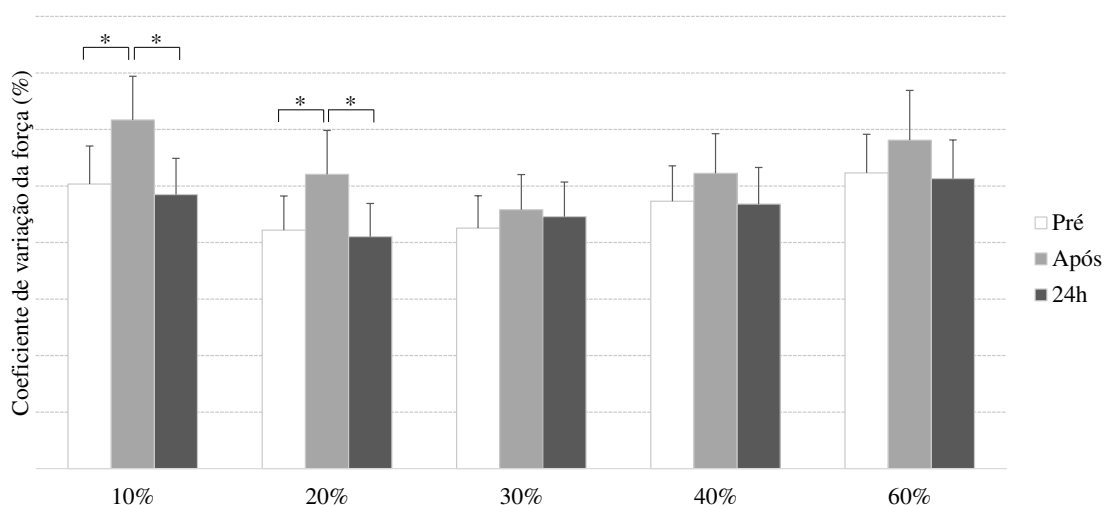


Figura 16 – Média e erro padrão do valor médio do coeficiente de variação da força (CoV), em função da intensidade da contração isométrica e do momento de avaliação (pré, após e 24h após treino). * $P \leq 0,05$.

5.5. Propriocepção

A Figura 17 apresenta os valores médios dos erros absoluto, constante e variável durante a tarefa de reposicionamento do joelho a 130 graus de amplitude, antes, imediatamente após e 24h depois do treino excêntrico isotônico.

O treino excêntrico produziu alterações na magnitude (erro absoluto) e direção (erro constante) do erro de reposicionamento do ângulo do joelho a 130 graus (efeito tempo: $P = 0,046$ e $P = 0,005$, respetivamente) (Fig. 17A e B). Imediatamente após o treino excêntrico, os voluntários aumentaram em $2,37 \pm 2,10^\circ$ a magnitude do erro ($P = 0,021$) e esta manteve-se acima do valor base nas 24 horas depois do treino ($2,7 \pm 2,70^\circ$; $P = 0,020$; Fig. 17A).

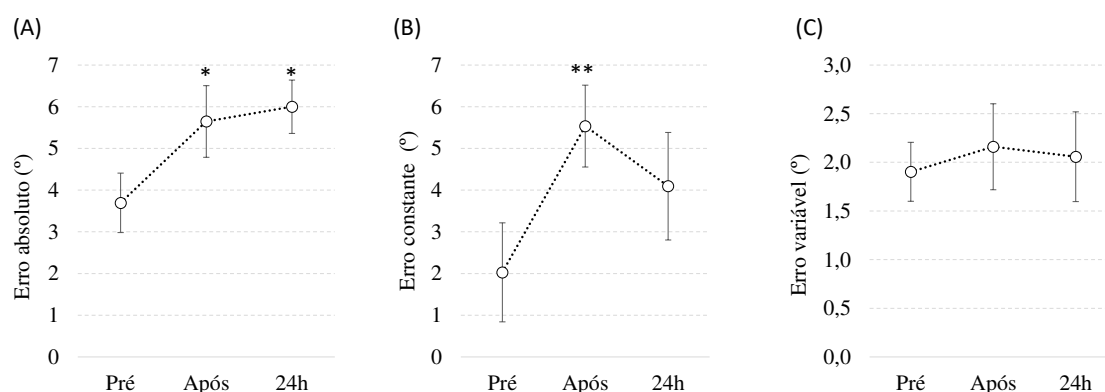


Figura 17 – Média e respetivo erro padrão do erro absoluto (A), erro constante (B) e erro variável (C) durante a tarefa de reposicionamento do joelho a 130 graus, registado nos três momentos de avaliação (pré, após e 24h após treino). * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$.

A análise do erro constante mostrou que, imediatamente após treino, os participantes percecionam a posição do joelho numa posição mais estendida ($+ 5,53 \pm 3,1^\circ$), quando comparado com a posição antes do treino ($+ 2,03 \pm 3,8^\circ$) ($P = 0,015$; Fig. 17B). Nas 24h após treino o erro constante mantém-se alto ($+ 4,09 \pm 4,1^\circ$) comparativamente ao valor pré treino, no entanto o resultado não é estatisticamente significativo ($P = 0,083$; Fig. 17B). Relativamente ao erro variável, não se observaram diferenças estatisticamente significativas entre os 3 momentos de avaliação (Fig. 17C).

5.6. Equilíbrio dinâmico

De acordo com os resultados obtidos no teste de equilíbrio dinâmico realizado com o membro inferior dominante, o treino excêntrico afetou apenas o índice de estabilidade na direção medio-lateral ($P = 0,006$), não se tendo observado diferenças nos índices global e ântero-posterior ($P = 0,698$ e $P = 0,980$, respetivamente) (Fig. 18).

A análise dos resultados mostra que, imediatamente após treino excêntrico, o índice de estabilidade ML aumenta significativamente ($P = 0,013$; Fig. 18C), revelando uma perda de equilíbrio nesta direção. Transcorridas 24h após o treino este parâmetro volta a valores semelhantes ao observado previamente ao treino (Fig. 18C).

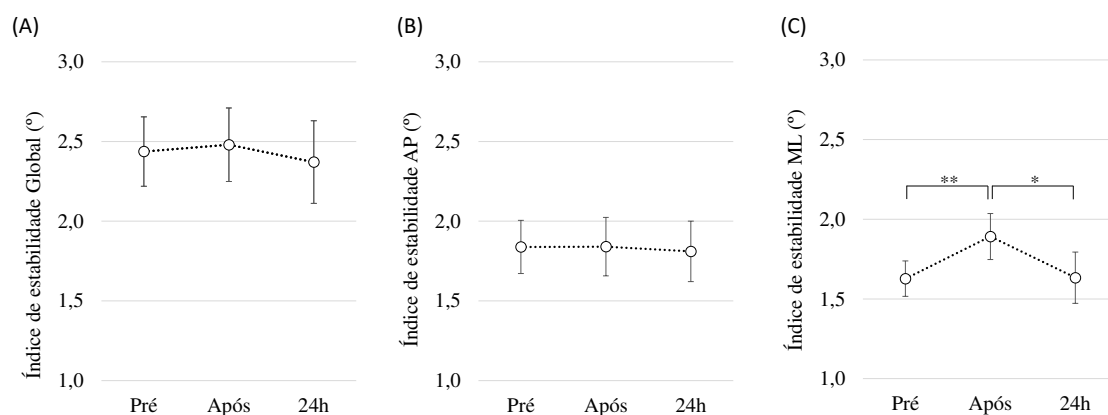


Figura 18 – Média e respetivo erro padrão do índice de estabilidade global (A), índice de estabilidade ântero-posterior (B) e índice de estabilidade medio-lateral (C) obtido durante o teste unipodal (membro inferior dominante), antes, imediatamente após e 24h após treino excêntrico. * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$.

5.7. Atividade muscular

5.7.1. Contrações isométricas explosivas

A Figura 19 mostra a ativação muscular dos músculos vastos lateral, vasto medial e bicípite femoral durante as contrações isométricas explosivas, mais especificamente nos 50ms centrados no momento em que o sujeito atinge a sua taxa de produção de força máxima (Fig. 19A) e nos 70ms que precedem o início da contração (Fig. 19B). Durante este teste verificou-se um aumento significativo da ativação muscular dos vastos medial e lateral imediatamente após treino, tanto no momento em que os sujeitos atingem a sua taxa máxima de produção de força ($P = 0,025$ e $P = 0,046$, respetivamente; Fig. 19A), como no momento que precede o início da contração ($P = 0,017$ e $P = 0,044$, respetivamente; Fig. 19B).

Nas 24h após treino os valores de ativação dos vastos retornam aos valores pré-treino.

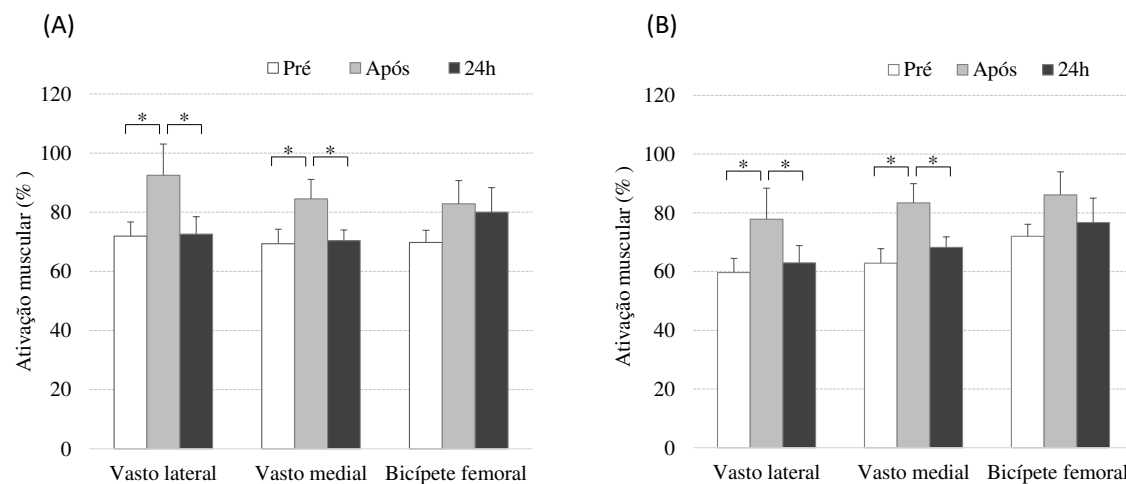


Figura 19 – Média e respetivo erro padrão da ativação muscular (ARV) do vasto lateral, vasto medial, bicípíte femoral durante a contração isométrica explosiva nas seguintes janelas temporais: 50ms centrada no momento em que o sujeito atinge a sua taxa máxima de produção de força e (B) nos 70ms que precedem o início da contração. * $P \leq 0,05$.

Relativamente ao bicípíte femoral, não se verificaram diferenças estatisticamente significativas em nenhum dos parâmetros avaliados durante a contração isométrica explosiva (Fig. 19).

5.7.2. Contrações submáximas isométricas

Durante as contrações submáximas verificou-se um efeito da intensidade da carga ($P < 0,001$) na atividade elétrica dos músculos vastos lateral, vasto medial e bicípíte femoral. Os resultados mostraram que à medida que a intensidade da contração isométrica aumenta verifica-se um aumento significativo da ativação dos músculos em estudo (para todas as condições $P < 0,05$). Para além do efeito da intensidade da carga verificou-se também um efeito “tempo” na ativação muscular dos vastos lateral e medial ($P < 0,01$ para todas as intensidades de carga) (Fig. 20).

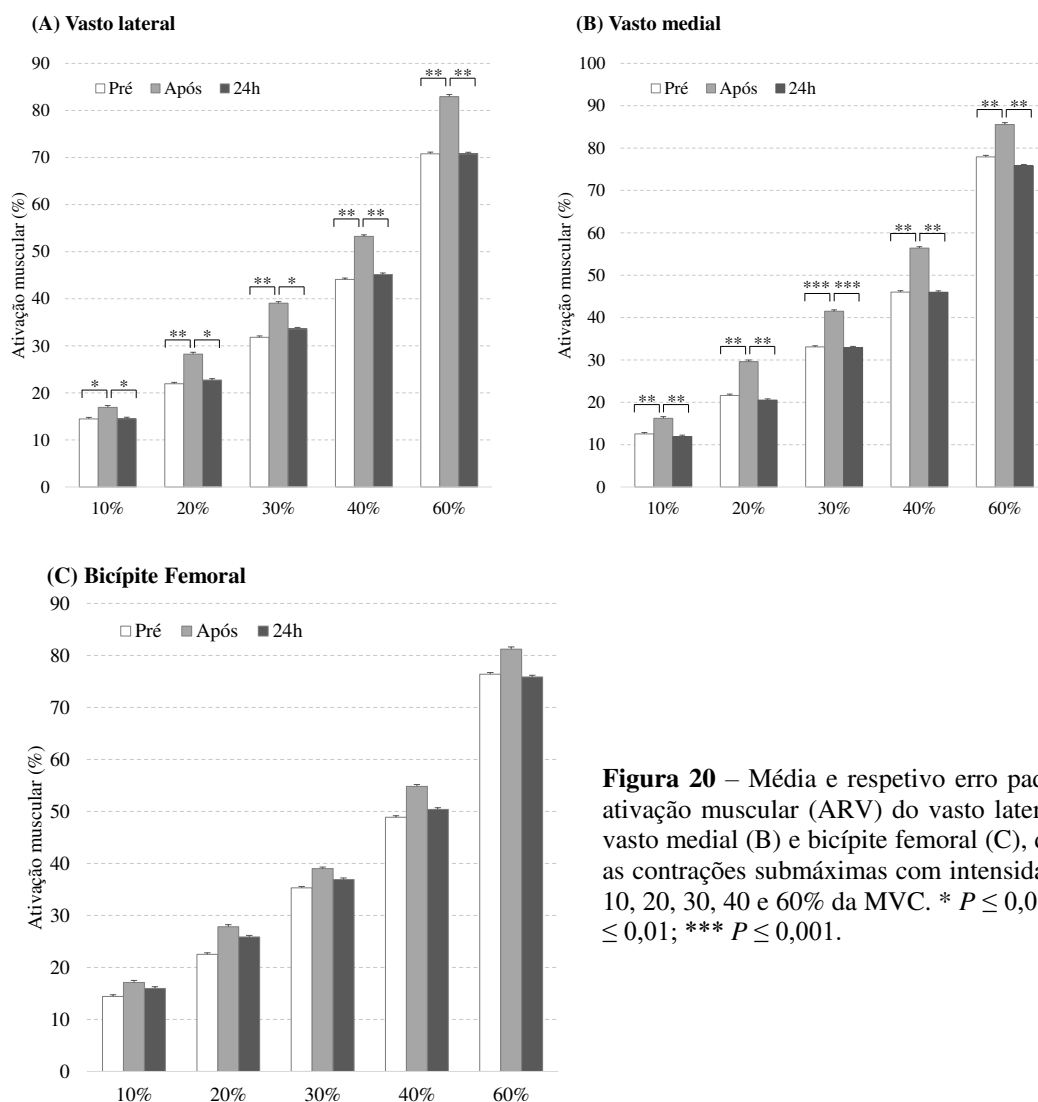


Figura 20 – Média e respetivo erro padrão da ativação muscular (ARV) do vasto lateral (A), vasto medial (B) e bicípito femoral (C), durante as contrações submáximas com intensidades de 10, 20, 30, 40 e 60% da MVC. * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$.

Imediatamente após treino verificou-se um aumento significativo da atividade muscular de ambos os vastos, independentemente da intensidade de carga (Fig. 20A e B). Relativamente ao bicípito femoral, embora se tenha observada um aumento da ativação imediatamente após treino (Fig. 20C), as alterações não foram estatisticamente significativas. Após 24h, a ativação muscular destes músculos voltou aos valores pré treino (Fig. 20).

A figura 20 apresenta os resultados relativamente à análise espectral do sinal de EMG do vasto lateral, vasto medial e bicípito femoral durante as contrações submáximas. No caso do vasto lateral, verificou-se que a frequência mediana do sinal decresceu imediatamente após treino para intensidades superiores a 30% (Fig. 20A)

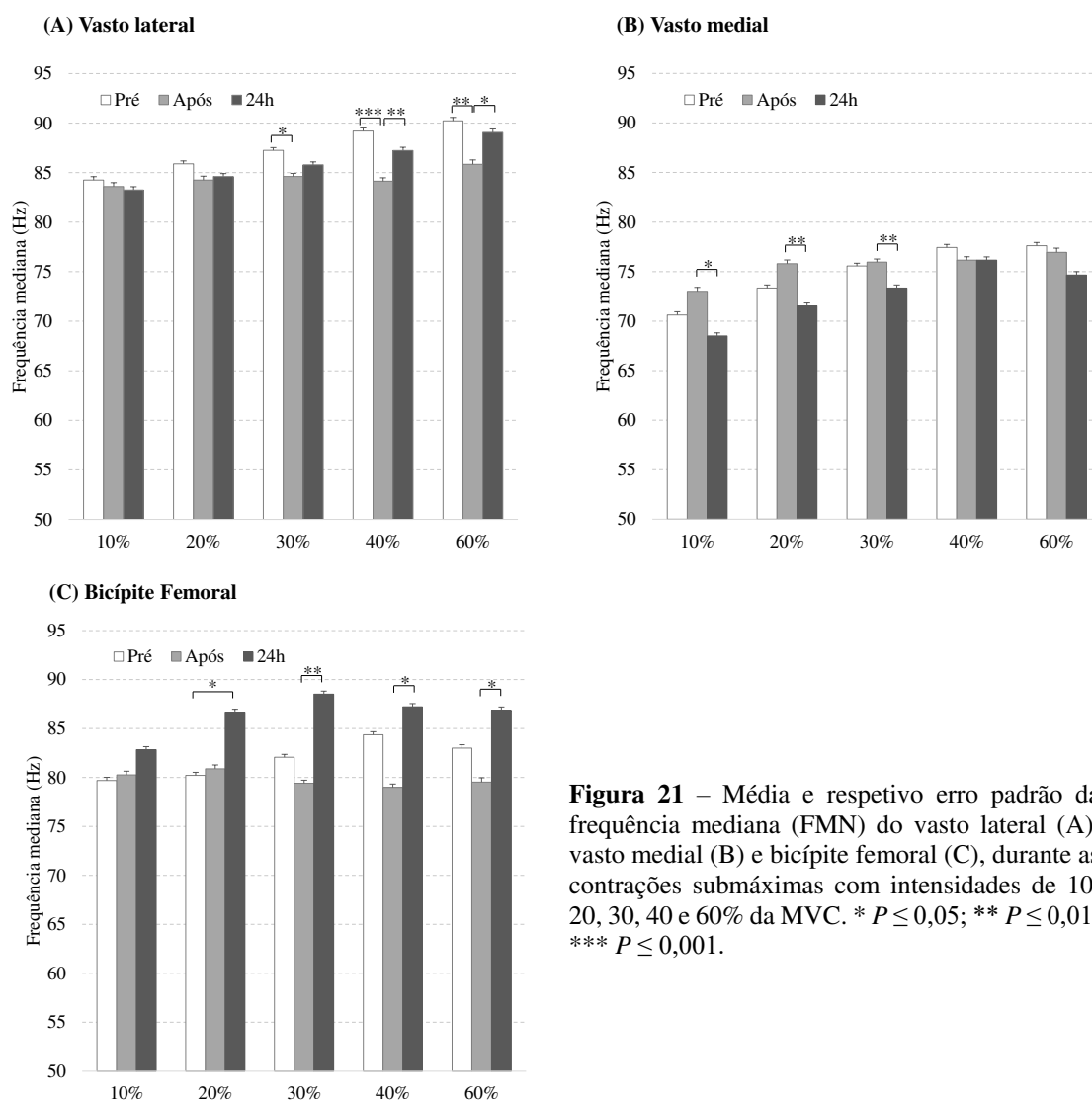


Figura 21 – Média e respetivo erro padrão da frequência mediana (FMN) do vasto lateral (A), vasto medial (B) e bicípíte femoral (C), durante as contrações submáximas com intensidades de 10, 20, 30, 40 e 60% da MVC. * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$.

Por outro lado, no caso do vasto medial, verificou-se um aumento não significativo da frequência mediana durante contrações realizadas com intensidades inferiores 30% da MVC, tendo verificado posteriormente uma redução significativa nas 24 horas após treino ($P < 0,05$; Fig. 21B).

Relativamente ao bicípíte femoral, para intensidades superiores a 20% verificou-se um aumento significativo da frequência mediana do sinal nas 24h após treino excêntrico (Fig. 21C).

5.7.3. Equilíbrio dinâmico

Durante os testes de equilíbrio dinâmico foi estudado a % de tempo em que os músculos: vasto lateral, vasto media e bicípíte femoral estiveram ativos. Os resultados mostram que o treino excêntrico não afetou este parâmetro (Fig. 22).

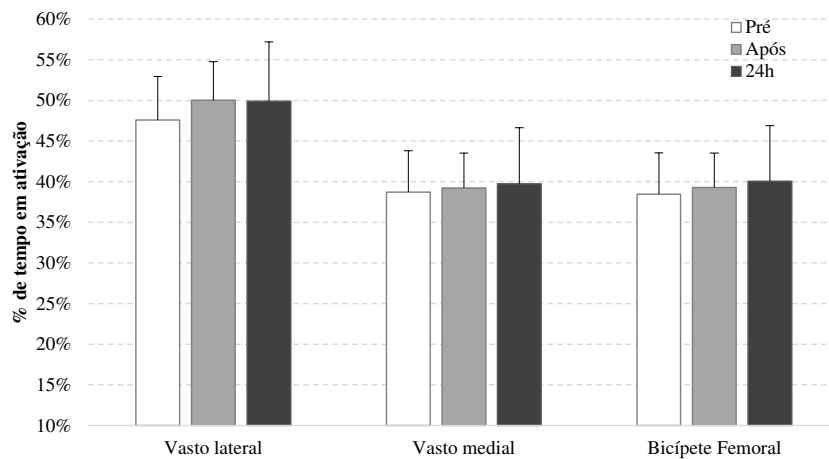


Figura 22 – Média e respetivo erro padrão da % de tempo em que os músculos: vasto lateral, vasto medial e bicípíte femoral, estiveram ativos durante a realização do teste de equilíbrio dinâmico.

Capítulo V: Discussão de Resultados

6. Discussão de Resultados

O treino de força é de facto uma mais-valia para a saúde e bem-estar da população em geral, no entanto a sua aplicabilidade e especificidade pode proporcionar sensações de dor nos dias subsequentes, particularmente quando este se centra em ações excêntricas supramáximas (Douglas et al., 2017). No entanto, estudos com protocolos de 4 séries, com 10 repetições e com 90% de 1RM para ações excêntricas (Ojasto & Hakkinen, 2009a; Ojasto & Hakkinen, 2009b) têm vindo a concluir que as alterações metabólicas agudas, provocadas pela utilização de cargas elevadas, podem ser uma ótima estratégia para melhorar a força máxima e potenciar a hipertrofia muscular a longo prazo (Wagle et al., 2017).

A percepção subjetiva de dor é um método não invasivo e um dos indicadores da presença de DOMS. No presente estudo os participantes referiram, em média, uma percepção subjetiva da dor de 3,6 na escala de VAS (0 a 10), 24h após o treino. Este valor corresponde a uma sensação de desconforto, não se tendo observado dores mais intensas para a grande maioria da amostra. No entanto, o pico máximo de dor é normalmente mais acentuado entre as 48-72 horas seguintes ao treino (Hody et al., 2019). No presente estudo, apenas se avaliou passado 24h, pelo que não se conhece a percepção de dor dos sujeitos nos dias subsequentes.

6.1. Força muscular

A aplicação de treino excêntrico pode induzir microlesões levando a alterações da arquitetura muscular do grupo muscular e, conseqüentemente, alterações da produção de força e da relação ótima do comprimento-força do músculo em causa (Proske & Allen, 2005). O treino excêntrico isotónico supramáximo aplicado neste estudo induziu um decréscimo da força máxima isométrica dos extensores do joelho imediatamente após treino e que se manteve nas 24h subsequentes. O mesmo se verificou no estudo de Hedayatpour, Hassanlouei, Arendt-nielsen, Kersting e Falla (2011), com um decréscimo significativo imediatamente após treino ($489 \pm 107,6$ N/m) e no 24h após ($503,8 \pm 101,7$ N/m, comparativamente aos valores basais ($674,1 \pm 133,6$ N/m). Este decréscimo de força pode ser explicado devido à presença de fadiga, adaptações do comportamento neural e conseqüente lesão muscular, alterando as componentes contrateis do músculo e a sua

relação entre comprimento ideal e produção de força (Proske & Allen, 2005b; Semmler, 2014).

No estudo de Walsh, Hesse, Morgan e Proske (2004), observou-se também uma redução da produção de força dos flexores do cotovelo em 46% imediatamente após aplicadas 5 séries de 10 repetições de contrações excêntricas, mantendo-se reduzida em 30% 2h após o treino.

No caso do nosso estudo, a ativação neural manteve-se elevada imediatamente após e 24h após o treino de força, o que nos indica que as alterações dos padrões de força foram influenciados pela tipologia contrátil das fibras musculares.

Para além da diminuição da força máxima isométrica dos extensores, verificou-se também uma redução significativa da taxa de produção de força máxima imediatamente após treino, mantendo-se suprimida nas 24h após treino. Estes resultados são expectáveis, tendo em conta que a taxa de produção de força está condicionada pela força muscular, área de secção transversal e tipo de fibra envolvidas, especialmente as cadeias pesadas de miosina (Douglas et al., 2017). No entanto, não pode ser descartada a influência de potenciais alterações neurais induzidas pelo treino excêntrico. Quanto às alterações neurais, especificamente para os músculos VL e VM, houve uma maior ativação neural imediatamente após o treino de força, tanto para o momento de maior taxa de produção de força como para os 50ms imediatamente antes do início da produção de força. Em contrapartida a atividade do músculo antagonista não foi afetada por este tipo de protocolo.

Segundo Maffiuletti et al., (2016), a capacidade de produzir força rápida para os primeiros milésimos de segundo está maioritariamente dependente do aumento da ativação muscular, para contrações de maior duração, após os 75ms, as propriedades contráteis do músculo influenciam a relação entre velocidade e produção de força (Folland, Buckthorpe, & Hannah, 2014).

Ao analisarmos a produção de força especificamente para os intervalos temporais, não se verificaram alterações significativas deste parâmetro nas 24h subsequentes ao treino. Isto leva-nos a concluir que uma única sessão de treino com este protocolo não é suficiente para afetar a capacidade contrátil e o desempenho global dos grupos musculares da coxa.

Ao analisarmos a produção de força especificamente para os intervalos temporais, nos primeiros milésimos de segundo, de acordo com o estudo de Taylor, Oliveira,

Corvino, Caputo e Aagaard (2015) e de Stasinaki, Zaras, Methenitis, Bogdanis e Terzis (2019), as alterações musculares e neurais, num período curto-médio prazo, aparentam influenciar a taxa de produção de força nos primeiros 100ms. Em contrapartida, ao analisarmos a RFD de um modo geral no nosso estudo, mesmo existindo alterações nos vários milésimos de segundo, os valores não se demonstraram significativos nestas primeiras 24h subsequentes ao treino, o que nos leva a concluir que uma única sessão de treino com este protocolo não é suficiente para afetar a capacidade contráctil e o desempenho global dos grupos musculares da coxa.

Quanto às alterações neurais, especificamente para os grupos VL e VM, houve uma maior ativação neural imediatamente após o treino de força, tanto para o momento de maior taxa de produção de força como para os primeiros 70ms iniciais. Segundo Maffiuletti et al., (2016), a capacidade de produzir força rápida para os primeiros milésimos de segundo está maioritariamente dependente do aumento da ativação muscular, para contrações de maior duração, após os 75ms, as propriedades contráteis do músculo influenciam a relação entre velocidade e produção de força (Folland, Buckthorpe e Hannah, 2014).

Para o músculo antagonista não se verificou nenhuma alteração significativa. A habilidade de produzir força rápida nos primeiros 300ms de contração muscular, para além de ser um fator importante para potenciar a performance dos atletas é também determinante no controlo postural em idades mais avançadas (Maffiuletti et al., 2016).

6.2. Estabilidade da produção de força, proprioção e equilíbrio

Após a execução de exercícios intensos, há uma grande dificuldade do organismo em realizar tarefas de controlo motor fino devido às alterações que ocorrem nas fibras e nos recetores musculares, especialmente após um treino excêntrico (Proske e Allen, 2005a).

De um modo geral, para diferentes cargas submáximas de força, verificaram-se diferentes alterações significativas de coeficiente de variação, especialmente para as cargas de 10 e 60%, comparativamente com as cargas de 20 e 30%.

Comparando os três momentos de avaliação, os resultados indicaram variações de força significativas para o pós-treino, com coeficientes de variação significativos para as cargas de 10% e 20% de força máxima isométrica, comparativamente com o pré-treino voltando aos valores de variação basais no 24h após. Segundo Dartnall, Rogasch,

Nordstrom e Semmler (2009), o treino excêntrico é caracterizado por proporcionar um aumento da fadiga em frequências com intensidades baixas implicando que haja um aumento da EMG, no pós treino, para estas percentagens.

Associado ao aumento da intensidade das cargas resultou o aumento da ativação neural para todos os grupos musculares, fenómeno este que se baseia no princípio do tamanho e por isso há um aumento do recrutamento de unidades motoras e a ativação neural é aumentada para todos os grupos musculares à medida que é necessário produzir mais força na contração dos músculos agonistas e resistir a essa mesma força para os músculos antagonistas.

Porém, apenas se verificou um aumento significativo do padrão neural no pós-treino para os vastos medial e lateral em todas as intensidades, isto porque, segundo Dideriksen, Negro, Enoka, e Farina (2012) e Enoka (2012), na presença de fadiga a capacidade de produzir força está comprometida e consequentemente o sistema nervoso tenta compensar a mesma magnitude de força com a ativação de mais unidades motoras.

Relativamente à frequência de disparo das unidades motoras, para o vasto lateral observou-se um défice significativo a partir dos 30% da força submáxima. Em contrapartida o vasto medial sofreu um aumento da frequência para as cargas submáximas mais leves (até aos 30%), com quebras significativas na frequência do sinal para as mesmas cargas no 24h após o treino de força.

Tratando-se de uma variável de controlo motor e especialmente após implementado um treino de ação excêntrica a capacidade de estabilizar a carga para a mesma intensidade de produção de força do antes para o após treino é diminuta pelo simples facto do mesmo moto-neurónio estabelecer ligações elétricas com várias fibras musculares e os padrões de EMG aumentarem para compensar a mesma magnitude de força (Turner, Tucker, Rogasch, & Semmler, 2008).

Curiosamente para o BF a frequência de ativação no 24h após o treino foi significativamente superior para as intensidades de 30, 40 e 60% de MVC quando comparado com o pós-treino, o que nos leva a concluir que o músculo antagonista tem um papel fundamental na produção de força, especialmente no 24h após o treino.

A relação entre agonista-antagonista e este fenómeno de co-ativação é bem notória especialmente quando há a necessidade de aumentar a força muscular para determinadas tarefas de forma a estabilizar também as restantes estruturas anatómicas (Cardinale et al., 2011).

Os resultados deste estudo vão ao encontro do estudo de Vila-chã et al. (2011) relativamente ao erro absoluto, pois indicam que o exercício excêntrico parece alterar a relação entre o esforço com a capacidade de produzir força e com a interpretação da posição do segmento corporal, tendo como consequência um aumento do ângulo do joelho e até alguma dificuldade em manter a própria posição estável. Associado a este aumento do ângulo está também o aumento da direção do erro, assim como no estudo de Allen e Proske (2006) houve um aumento da posição do segmento, com valores significativos no pós-treino comparativamente com os valores de controlo, com tendência a retornar aos valores iniciais nas horas subsequentes. Para Allen e Proske (2006), a presença de fadiga e a destruição das fibras desafiam os grupos musculares a adotar e manter novas posições segmentares para resistir à ação da gravidade, e é através dessa informação sensorial que o organismo situa a localização do segmento no espaço.

As fibras musculares são afetadas pelo treino excêntrico, mas os recetores musculares não (Allen & Proske, 2006; Walsh et al., 2004), e segundo o modelo propriocetivo (Allen, Ansems, e Proske, 2007) a tendência natural dos recetores, no pós-treino, é interpretar a posição alongada como a posição inicial, pois o sistema interpreta o feedback sensorial e compara-o com a memória do movimento realizado no passado.

6.3. Equilíbrio dinâmico

Para o equilíbrio dinâmico verificou-se que o treino excêntrico alterou o índice de estabilidade médio-lateral sem comprometer o equilíbrio ântero-posterior e o equilíbrio global. Níveis elevados de ação muscular excêntrica inibem a ação de movimentos rápidos e a desaceleração nos ciclos de alongamento-encurtamento (Cardinale et al., 2011), não só pela inibição das vias neurais, mas também pela destruição muscular típica da ação excêntrica. A estabilidade médio-lateral foi comprometida não pelas alterações específicas nos vastos, visto que estes atuam na flexão e extensão da articulação do joelho, mas pela fadiga acumulada nos segmentos distais da anca e da tibio-társica.

O índice ântero-posterior não foi comprometido porque não houve quaisquer alterações significativas para o BF, ou seja, se o grupo antagonista não sofreu alterações significativas tanto na produção de força como no aumento da ativação neural concluímos que este deteve o controlo necessário para manter o equilíbrio ântero-posterior e desacelerar o movimento de forma a proteger os ligamentos e a cápsula articular do joelho

(Aagaard, Simonsen, Magnusson, Larsson e Dyhre-poulsen, 1998) e esta é uma das principais razões pela qual o treino excêntrico é utilizado no processo de reabilitação e na prevenção de lesões.

Grande parte dos estudos científicos sobre o treino excêntrico são baseados em protocolos de treino de força em máquinas isocinéticas, no entanto este tipo de metodologia acaba por ser pouco funcional pois não há um transfere positivo para aquilo que é a realidade do treino nas salas de musculação dos ginásios, pois grande parte da prescrição de treino envolve movimentos isométricos e isotônicos.

Capítulo VI - Conclusões

Conclusões

Finalizada a nossa investigação científica, concluímos que o protocolo de treino afetou de forma diferenciada a performance das diferentes tarefas em estudo. Tanto a força máxima isométrica, como a taxa de produção de força diminuíram significativamente imediatamente após o treino, mantendo-se reduzidas nas 24h subsequentes, comparativamente com o pré-treino. Estes valores de força decrescem essencialmente pela presença da fadiga central e periférica e pela lesão muscular característica do treino excêntrico. Enquanto que a força máxima e a taxa de produção de força são duas variáveis de intensidade máxima e que requerem grandes níveis de ativação, a estabilidade da força, a proprioção e o equilíbrio são variáveis que requerem um controlo motor mais preciso. Os resultados mostraram que a performance destas só foram afetadas no período imediatamente pós-treino, muito provavelmente pela fadiga neuromuscular induzida pela sessão de treino. Quanto às implicações práticas, nas 24h subsequentes ao treino, as tarefas de maior controlo motor parecem não estar comprometidas, no entanto as tarefas com a necessidade de maior produção de força estão limitadas. Relativamente à ativação neural, verificámos que houve um aumento significativo para os vastos, no período do pós-treino, porém estes regressaram a valores basais no 24h após-treino, o que nos leva a concluir que a perda de produção de força decorreu de fatores musculares e não neurais.

Contrapondo os resultados obtidos com as hipóteses em estudo inicialmente formuladas, confirmamos a Hipótese 1, com um aumento da sensação de dor particularmente para os vastos lateral e medial. O bicipite femoral sofreu uma ligeira alteração de perceção de dor.

Foi também validada a Hipótese 2, pois obtivemos uma média de perceção de dor superior para ambos os vastos, classificada como “desconfortável” e uma média de valores relativamente mais baixa, classificado a perceção no bicipite femoral como “quase inexistente”.

Relativamente à produção de força, tanto a força máxima isométrica como a taxa de produção de força sofreram quebras significativas, derivadas da presença de fadiga e de alterações musculares, que se mantiveram no 24h após o treino de força. Desta forma, a Hipótese 3 e 4 são ambas verdadeiras.

No entanto, refutámos as Hipóteses 5 e 6, visto que é uma varável dependente da ativação e do controlo motor e consequentemente voltou a valores iniciais no 24h após o treino.

Classificámos as Hipóteses 7 e 8 como parcialmente verdadeiras, isto porque o equilíbrio médio lateral foi afetado apenas no pós-treino devido à presença de fadiga acumulada nos segmentos distais à articulação do joelho.

No que concerne à proprioção, confirmamos na totalidade a Hipótese 9 para a magnitude do erro (erro absoluto), pois tanto no pós como no 24h após-treino foram adotadas posições segmentares com ângulos de maior amplitude, todavia apenas se confirma a validade desta hipótese para a direção do erro (erros constante) no pós-treino.

Para todos os grupos musculares, como consequência do impacto do treino sucedeu-se um aumento da ativação neural antecedente e precedente à contração muscular, com valores superiores para os vastos lateral e medial. Deste modo, comprova-se a veracidade da Hipótese 10.

No que respeita à Hipótese 11, esta é válida porque para as mesmas intensidades submáximas de produção de força observou-se um aumento da ativação neural pelo aumento da amplitude do sinal, especialmente após o treino excêntrico e pelas diferentes frequências de sinal que nos induzem ao recrutamento de diferentes tipos de fibras musculares em diferentes momentos de avaliação.

Por último, refutamos a Hipótese 12, pois o equilíbrio não foi afetado pelo comportamento da função neural.

Bibliografia

- Aagaard, P., Simonsen, E., Andersen, J., Magnusson, S., Halkjær-Kristensen, J., & Dyhre-Poulsen, P. (2000). Neural inhibition during maximal eccentric and concentric quadriceps contraction: effects of resistance training. *Journal of Applied Physiology*, 89(6), 2249–2257. <https://doi.org/10.1152/jappl.2000.89.6.2249>
- Aagaard, P., Simonsen, E. B., Magnusson, S. P., Larsson, B., & Dyhre-poulsen, P. (1998). A New Concept For Isokinetic Hamstring : Quadriceps Muscle Strength Ratio. *American Orthopaedic Society for Sports Medicine*, 26(2), 231–237. <https://doi.org/10.1177/03635465980260021201>
- ACSM. (2002). Progression Models in Resistance Training for Healthy Adults, 34(2), 364–380. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181915670>
- ACSM. (2011). Quantity and Quality of Exercise for Developing and Maintaining Neuromotor Fitness in Apparently Healthy Adults : Guidance for Prescribing Exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(7), 1334–1359. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318213fefb>
- Allen, T., & Proske, U. (2006). Effect of muscle fatigue on the sense of limb position and movement. *Brain Research*, 1(170), 30–38. <https://doi.org/10.1007/s00221-005-0174-z>
- Allen, Trevor, Ansems, G., & Proske, U. (2007). Effects of muscle conditioning on position sense at the human forearm during loading or fatigue of elbow flexors and the role of the sense of effort. *Journal of Physiology*, 2(580), 423–434. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2006.125161>
- Armstrong, R. B., Warren, G. L., & Warren, J. A. (1991). Mechanisms of Exercise-Induced Muscle Fibre Injury. *Sports Medicine*. <https://doi.org/10.2165/00007256-199112030-00004>
- Bird, S. P., Tarpenning, K. M., & Marino, F. E. (2005). Designing resistance training programmes to enhance fitness: A review of the acute programme. *Sports Medicine*, 35(10), 841–851. <https://doi.org/10.2165/00007256-200535100-00002>
- Brockett, C., Warren, N., Gregory, J. E., Morgan, D. L., & Proske, U. (1997). A comparison of the effects of concentric versus eccentric exercise on force and position sense at the human elbow joint. *Brain Research*, 771(2), 251–258. [https://doi.org/10.1016/S0006-8993\(97\)00808-1](https://doi.org/10.1016/S0006-8993(97)00808-1)

- Butterfield, T. A. (2010). Eccentric Exercise In Vivo : Strain-Induced Muscle Damage and Adaptation in a Stable System. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 38(2), 51–60.
- Cardinale, M., Newton, R., & Nosaka, K. (2011). *Strength and Conditioning: Biological Principles and Practical Applications* (1st ed.). UK: Jonh Wiley & Sons, Ltd.
- Carroll, T. J., Selvanayagam, V. S., Riek, S., & Semmler, J. G. (2011). Neural adaptations to strength training: Moving beyond transcranial magnetic stimulation and reflex studies. *Acta Physiologica*. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.2011.02271.x>
- Chen, C. H., Chen, Y. J., Tu, H. P., Huang, M. H., Jhong, J. H., & Lin, K. L. (2014). Benefits of exercise training and the correlation between aerobic capacity and functional outcomes and quality of life in elderly patients with coronary artery disease. *Kaohsiung Journal of Medical Sciences*, 30(10), 521–530. <https://doi.org/10.1016/j.kjms.2014.08.004>
- Clarkson, P. M., Nosaka, K., & Braun, B. (1992). Muscle function after exercise-induced muscle damage and rapid adaptation. *Medicine and science in sports and exercise*, 24(5), 512–520. [https://doi.org/0195-9131/92/2405-0512\\$3.00/0](https://doi.org/0195-9131/92/2405-0512$3.00/0)
- Dartnall, T. (2009). *Motor Unit Activity and Neuromuscular Function After Exercise-Induced Damage To Elbow Flexor Muscles*. The University of Adelaide. Obtido de <http://digital.library.adelaide.edu.au/dspace/bitstream/2440/64722/1/02whole.pdf%5Cnhttp://digital.library.adelaide.edu.au/dspace/handle/2440/64722>
- Dartnall, T. J., Rogasch, N. C., Nordstrom, M. A., & Semmler, J. G. (2009). Eccentric Muscle Damage Has Variable Effects on Motor Unit Recruitment Thresholds and Discharge Patterns in Elbow Flexor Muscles, 413–423. <https://doi.org/10.1152/jn.91285.2008>
- Dartnall, T., Rogasch, N., Nordstrom, M., & Semmler, J. (2009). Eccentric Muscle Damage Has Variable Effects on Motor Unit Recruitment Thresholds and Discharge Patterns in Elbow Flexor Muscles. *Journal of Neurophysiology*, 102, 413–423. <https://doi.org/10.1152/jn.91285.2008>
- DHHS. (2008). 2008 Physical activity guidelines for Americans. *President's Council on Physical Fitness & Sports Research Digest*, 9(4), 1–8. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-44.1.5>
- Dideriksen, J. L., Negro, F., Enoka, R. M., & Farina, D. (2012). Motor unit recruitment strategies and muscle properties determine the influence of synaptic noise on force steadiness. *Journal of Neurophysiology*, 107(12), 3357–3369. <https://doi.org/10.1152/jn.00938.2011>
- Douglas, J., Pearson, S., Ross, A., Mcguigan, M., & Douglas, J. (2017). Chronic Adaptations to

- Eccentric Training : A Systematic Review. *Sports Medicine*, 47(5), 917–941.
<https://doi.org/10.1007/s40279-016-0628-4>
- Duchateau, J., Semmler, J. G., & Enoka, R. M. (2006). Training adaptations in the behavior of human motor units. *Journal of Applied Physiology*, 101(6), 1766–1775.
<https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00543.2006>
- Duchateau, Jacques, & Enoka, R. M. (2008). Neural control of shortening and lengthening contractions: Influence of task constraints. *Journal of Physiology*, 586(24), 5853–5864.
<https://doi.org/10.1113/jphysiol.2008.160747>
- Duchateau, Jacques, & Enoka, R. M. (2016). Neural control of lengthening contractions. *Journal of Experimental Biology*, 219(2), 197–204. <https://doi.org/10.1242/jeb.123158>
- Dziados, J., Fleck, S. J., Fry, A. C., Hakkinen, K., Hasegawa, H., Kraemer, W. J., & Newton, R. U. (2002). *Strength Training for Sport. Medicine & Science in Sports & Exercise* (1st ed.). Oxford: Blackwell Science Ltd. <https://doi.org/10.1097/00005768-200209000-00023>
- Earnest, C. P., Johannsen, N. M., Swift, D. L., Gillison, F. B., Catherine, R., Lucia, A., ... Church, T. S. (2014). Aerobic and Strength Training in Concomitant Metabolic Syndrome and Type 2 Diabetes. *Medicine and science in sports and exercise*, 46(7), 1293–1301.
<https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000242>.Aerobic
- Enoka, R. M. (1996). Roger M. Enoka. *Journal of Applied Physiology*, 81(6), 2339–2346.
<https://doi.org/10.1152/jappl.1996.81.6.2339>
- Enoka, R. M. (2008). Neuromechanics of Human Movement. *Human Kinetics*, 549. Obtido de <http://books.google.com/books?id=2JI04kdV9isC&pgis=1>
- Enoka, R. M. (2012). Muscle fatigue - from motor units to clinical symptoms. *Journal of Biomechanics*, 45(3), 427–433. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2011.11.047>
- Fleck, S. J., & Kraemer, W. J. (2014). *Designing Resistance Training Programs Fourth Edition* (4th ed.). Human Kinetics.
- Folland, J., Buckthorpe, M., & Hannah, R. (2014). Human capacity for explosive force production : Neural and contractile determinants. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 24(6), 894–906. <https://doi.org/10.1111/sms.12131>
- Folland, J. P., & Williams, A. G. (2007). The adaptations to strength training: Morphological and neurological contributions to increased strength. *Sports Medicine*, 37(2), 145–168.
<https://doi.org/10.2165/00007256-200737020-00004>
- Franchi, M. V., Reeves, N. D., & Narici, M. V. (2017). Skeletal muscle remodeling in response

- to eccentric vs. concentric loading: Morphological, molecular, and metabolic adaptations. *Frontiers in Physiology*, 8(447). <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00447>
- Fry, C. S., Kirby, T. J., Kosmac, K., McCarthy, J. J., & Peterson, C. A. (2017). Myogenic Progenitor Cells Control Extracellular Matrix Production by Fibroblasts during Skeletal Muscle Hypertrophy. *Cell Stem Cell*, 20(1), 56–69. <https://doi.org/10.1016/j.stem.2016.09.010>
- Gabriel, D. A., Kamen, G., & Frost, G. (2006). Neural Adaptations to Resistive Exercise. *Sports Medicine*, 36(2), 133–149. <https://doi.org/10.2165/00007256-200636020-00004>
- Griffin, L., & Cafarelli, E. (2005). Resistance Training: Cortical, Spinal, and Motor Unit Adaptations. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 30(3), 328–340. <https://doi.org/10.1139/h05-125>
- Guilhem, G., Cornu, C., & Guével, A. (2010). Adaptations neuromusculaires et musculo-tendineuses à l'exercice excentrique isotonique et isocinétique. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 53(5), 319–341. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2010.04.003>
- Harridge, S. D. R. (2007). Plasticity of human skeletal muscle: gene expression to *in vivo* function. *Experimental Physiology*, 92(5), 783–797. <https://doi.org/10.1113/expphysiol.2006.036525>
- Haskell, W. L., Lee, I. M., Pate, R. R., Powell, K. E., Blair, S. N., Franklin, B. A., ... Bauman, A. (2007). Physical activity and public health: Updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(8), 1423–1434. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e3180616b27>
- Hass, C. J., Feigenbaum, M. S., & Franklin, B. A. (2001). Prescription of resistance training for healthy populations (Hass, C.J., Feigenbaum, M.S. & Franklin, B.A. -2001-), 31(14), 1–12. Obtido de papers2://publication/uuid/45BF3986-508D-49CB-88CB-DC8EE2641F2A
- Hedayatpour, N., & Falla, D. (2015). Physiological and Neural Adaptations to Eccentric Exercise: Mechanisms and Considerations for Training. *BioMed Research International*. <https://doi.org/10.1155/2015/193741>
- Hedayatpour, N., Hassanlouei, H., Arendt-nielsen, L., Kersting, U. W. E. G., & Falla, D. (2011). Delayed-Onset Muscle Soreness Alters the Response to Postural Perturbations. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(6), 1010–1016. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3182058628>
- Hody, S., Croisier, J., Bury, T., & Rogister, B. (2019). Eccentric Muscle Contractions : Risks

- and Benefits. *Frontiers in Physiology*, 10(536), 1–18.
<https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00536>
- Hunter, G. R., Plaisance, E. P., & Fisher, G. (2014). Weight Loss and Bone Mineral Density. *Current Opinion in Endocrinology, Diabetes, and Obesity*, 21(5), 358–362.
<https://doi.org/10.1097/MED.0000000000000087>.Weight
- Hyldahl, R. D., Olson, T., Welling, T., Groscost, L., & Parcell, A. C. (2014). Satellite cell activity is differentially affected by contraction mode in human muscle following a work-matched bout of exercise. *Frontiers in Physiology*, 5(Nov), 1–11.
<https://doi.org/10.3389/fphys.2014.00485>
- Jones, D. A., Rutherford, O. M., & Parker, D. F. (1989). Physiological changes in skeletal muscle as a result of strength training. *Quarterly journal of experimental physiology (Cambridge, England)*, 74(3), 233–256. <https://doi.org/10.1113/expphysiol.1989.sp003268>
- Khan, M. A., Moiz, J. A., Raza, S., Verma, S., Shareef, M. Y., Anwer, S., & Alghadir, A. (2016). Physical and balance performance following exercise induced muscle damage in male soccer players. *Journal of Physical Therapy Science*, 10(28), 2942–2949.
<https://doi.org/10.1589/jpts.28.2942>
- Komi, P. (2003). *Strength and Power in Sport. Medicine & Science in Sports & Exercise* (2nd ed.). UK: Blackwell Science Ltd. <https://doi.org/10.1249/00005768-199411000-00021>
- Konow, N., & Roberts, T. J. (2015). The series elastic shock absorber: Tendon elasticity modulates energy dissipation by muscle during burst deceleration. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 282(1804). <https://doi.org/10.1098/rspb.2014.2800>
- Kraemer, W. J., & Ratamess, N. A. (2004). Fundamentals of Resistance Training: Progression and Exercise Prescription. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(4), 674–688.
<https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000121945.36635.61>
- Maffiuletti, N. A., Aagaard, P., Blazevich, A. J., Folland, J., Tillin, N., & Duchateau, J. (2016). Rate of force development : physiological and methodological considerations. *European Journal of Applied Physiology*, 116(6), 1091–1116. <https://doi.org/10.1007/s00421-016-3346-6>
- Moritz, C., Barry, B., Pascoe, M., & Enoka, R. (2005). Discharge Rate Variability Influences the Variation in Force Fluctuations Across the Working Range of a Hand Muscle. *Journal of Neurophysiology*, 93(5), 2449–2459. <https://doi.org/10.1152/jn.01122.2004>
- Nelson, M. E., Rejeski, W. J., Blair, S. N., Duncan, P. W., Judge, J. O., King, A. C., ... Castaneda-Sceppa, C. (2007). Physical activity and public health in older adults:

- Recommendation from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Circulation*, 116(9), 1094–1105.
<https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.107.185650>
- Nosaka, K., & Newton, M. (2002). Difference in the magnitude of muscle damage between maximal and submaximal eccentric loading. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 16(2), 202–208. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2002\)016<0202:DITMOM>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2002)016<0202:DITMOM>2.0.CO;2)
- Ojasto, T., & Hakkinen, K. (2009). Effects of Different Accentuated Eccentric Loads on Acute Neuromuscular, Growth Hormone, and Blood Lactate Responses During a Hypertrophic Protocol. *Journal of Strength and Condition Research*, 23(3), 946–953.
<https://doi.org/10.1519/jsc.0b013e3181a2b22f>
- Ojasto, T., & Hakkinen, K. (2009). Effects of Different Accentuated Eccentric Load Levels in Eccentric-Concentric Actions on Acute Neuromuscular, Maximal Force, and Power Responses. *Journal of Strength and Condition Research*, 23(3), 996–1004.
<https://doi.org/10.1519/jsc.0b013e3181a2b28e>
- Palmieri, R. M., Ingersoll, C. D., Cordova, M. L., Kinzey, S. J., Stone, M. B., & Krause, B. A. (2003). The Effect of a Simulated Knee Joint Effusion on Postural Control in Healthy Subjects. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 84(7), 1076–1079.
[https://doi.org/10.1016/S0003-9993\(03\)00129-1](https://doi.org/10.1016/S0003-9993(03)00129-1)
- Prasartwuth, O., Allen, T. J., Butler, J. E., Gandevia, S. C., & Taylor, J. L. (2006). Length-dependent changes in voluntary activation, maximum voluntary torque and twitch responses after eccentric damage in humans. *Journal of Physiology*, 571(1), 243–252.
<https://doi.org/10.1113/jphysiol.2005.101600>
- Prasartwuth, O., Taylor, J. L., & Gandevia, S. C. (2005). Maximal force, voluntary activation and muscle soreness after eccentric damage to human elbow flexor muscles. *Journal of Physiology*, 567(1), 337–348. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2005.087767>
- Proske, U., & Allen, T. (2005a). Damage to Skeletal Muscle from Eccentric Exercise. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 33(2), 98–104. <https://doi.org/10.1097/00003677-200504000-00007>
- Proske, U., & Allen, T. J. (2005b). Damage to Skeletal Muscle from Eccentric Exercise. *Exercise and sport sciences reviews*, 33(2), 98–104. Obtido de https://journals.lww.com/acsm-essr/Fulltext/2005/04000/Damage_to_Skeletal_Muscle_from_Eccentric_Exercise.7.aspx#

- Riley, Z. A., Maerz, A. H., Litsey, J. C., & Enoka, R. M. (2008). Motor unit recruitment in human biceps brachii during sustained voluntary contractions. *Journal of Physiology*, 586(8), 2183–2193. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2008.150698>
- Roig, M., O'Brien, K., Kirk, G., Murray, R., McKinnon, P., Shadgan, B., & Reid, W. D. (2009). The effects of eccentric versus concentric resistance training on muscle strength and mass in healthy adults: A systematic review with meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 43(8), 556–568. <https://doi.org/10.1136/bjsm.2008.051417>
- Semmler, J. G. (2014). Motor unit activity after eccentric exercise and muscle damage in humans. *Acta Physiologica*, 210(4), 754–767. <https://doi.org/10.1111/apha.12232>
- Semmler, J. G., Tucker, K. J., Allen, T. J., & Proske, U. (2007). Eccentric exercise increases EMG amplitude and force fluctuations during submaximal contractions of elbow flexor muscles. *Journal of Applied Physiology*, 103(3), 979–989. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01310.2006>
- Souron, R., Nosaka, K., & Jubeau, M. (2018). Changes in central and peripheral neuromuscular fatigue indices after concentric versus eccentric contractions of the knee extensors. *European Journal of Applied Physiology*, 118(4), 805–816. <https://doi.org/10.1007/s00421-018-3816-0>
- Stasinaki, A., Zaras, N., Methenitis, S., Bogdanis, G., & Terzis, G. (2019). Rate of Force Development and Muscle Architecture after Fast and Slow Velocity Eccentric Training. *Sports*, 7(2), 1–12. <https://doi.org/10.3390/sports7020041>
- Taylor, P., Oliveira, A. S., Corvino, R. B., Caputo, F., & Aagaard, P. (2015). European Journal of Sport Science Effects of fast-velocity eccentric resistance training on early and late rate of force development. *European Journal of Sport Science*, 16(2), 199–205. <https://doi.org/10.1080/17461391.2015.1010593>
- Theodorou, A. A., Panayiotou, G., Volaklis, K. A., Douda, H. T., Paschalis, V., Nikolaidis, M. G., ... Tokmakidis, S. P. (2016). Aerobic, resistance and combined training and detraining on body composition, muscle strength, lipid profile and inflammation in coronary artery disease patients. *Research in Sports Medicine*, 24(3), 171–184. <https://doi.org/10.1080/15438627.2016.1191488>
- Turner, T., Tucker, K., Rogasch, N., & Semmler, J. (2008). Impaired neuromuscular function during isometric, shortening, and lengthening contractions after exercise-induced damage to elbow flexor muscles. *Journal of Applied Physiology*, 105(2), 502–509.

<https://doi.org/10.1152/jappphysiol.90421.2008>

- Vila-chã, C., Riis, S., Lund, D., Møller, A., Farina, D., & Falla, D. (2011). Effect of unaccustomed eccentric exercise on proprioception of the knee in weight and non-weight bearing tasks. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 21(1), 141–147. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2010.10.001>
- Vogt, M., & Hoppeler, H. (2014). Eccentric exercise: mechanisms and effects when used as training regime or training adjunct. *Journal of Applied Physiology*, 116(11), 1446–1454. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00146.2013>
- Wagle, J., Taber, C., Cunanan, A., Bingham, G., Carroll, K., DeWeese, B., ... Stone, M. (2017). Accentuated Eccentric Loading for Training and Performance : A Review. *Sports Medicine*, 47(12), 2473–2495. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0755-6>
- Walsh, L. D., Allen, T. J., Gandevia, S. C., & Proske, U. (2006). Effect of eccentric exercise on position sense at the human forearm in different postures. *Journal of Applied Physiology*, 100(4), 1109–1116. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01303.2005>
- Walsh, L. D., Hesse, C. W., Morgan, D. L., & Proske, U. (2004). Human forearm position sense after fatigue of elbow flexor muscles. *Journal of Physiology*, 558(2), 705–715. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2004.062703>
- Warren, G., Ingalls, C., Lowe, D., & Armstrong, R. (2001). Excitation-Contraction Uncoupling: Major Role in Contraction-Induced Muscle Injury. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 29(2), 82–87. <https://doi.org/10.1097/00003677-200104000-00008>
- Warren, G. I., Lowe, D., & Armstrong, R. (1999). Measurement tools used in the study of eccentric contraction – induced injury. *Sports Medicine*, 27(1), 43–59. <https://doi.org/10.2165/00007256-199927010-00004>
- Weerakkody, N., Percival, P., Morgan, D. L., Gregory, J. E., & Proske, U. (2003). Matching different levels of isometric torque in elbow flexor muscles after eccentric exercise. *Experimental Brain Research*, 149(2), 141–150. <https://doi.org/10.1007/s00221-002-1341-0>
- Zatsiorsky, V., & Kraemer, W. (2008). *Zatsiorsky e Kraemer_Ciencia e Pratica do Treino da Forca.pdf* (2nd ed.). São Paulo: Phorte Editora LDA.
- Zatsiorsky, V. V. M., & Kraemer, W. J. W. (2006). *Science and practice of strength training*. Obtido de <http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=QWSn4iKgNo8C&oi=fnd&pg=PR8&dq=Science+and+Practice+of+Strength+Training&ots=v46bUiOLDs&sig=qduV5QRbeak7ox>

UarrpS0XNBixY%5Cn<https://books.google.com/books?id=QWSn4iKgNo8C&pgis=1>

Zhao, G., Li, C., Ford, E. S., Fulton, J. E., Carlson, S. A., Okoro, C. A., ... Balluz, L. S. (2014). Leisure-time aerobic physical activity, muscle-strengthening activity and mortality risks among US adults: The NHANES linked mortality study. *British Journal of Sports Medicine*, 48(3), 244–249. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092731>

Anexos

Anexo 1

Consentimento Informado

Participação no Projeto de Investigação: Efeito do exercício excêntrico no controlo postural, na produção e estabilidade de força em jovens adultos.

Introdução

Este documento escrito solicita um pedido de participação no projeto de investigação. O seu consentimento, para participar voluntariamente, só deve ser dado depois de ter recebido toda a informação necessária. Durante a apresentação da informação, se tiver alguma dúvida, por favor não hesite em pedir esclarecimentos às responsáveis pelo projeto (Cristiana e Prof. Carolina). A sua participação é voluntária e pode desistir a qualquer momento do projeto de investigação.

Objetivos do estudo

O exercício excêntrico tem vindo a ser cada vez mais utilizado no âmbito da melhoria da aptidão muscular de indivíduos de diferentes escalões etários e diferentes níveis de aptidão física. Apesar dos vários benefícios associados a este tipo de exercício sabe-se que, quando não usual, pode induzir alterações neuromusculares com repercussões na performance motora, quer em atividades do âmbito desportivo, quer da vida quotidiana das pessoas. A rápida expansão deste tipo de treino tem levado ao desenvolvimento de diferentes equipamentos e metodologias. Contudo, as adaptações neurofisiológicas e funcionais a este tipo de metodologias ainda não são bem conhecidas.

Assim, este projeto de investigação objetiva o estudo do exercício excêntrico e das suas adaptações agudas.

Testes de Avaliação

De forma a avaliar o impacto do treino realizado, estarão associados testes relativamente simples e que não colocam em risco os participantes para a prática de exercício físico. Portanto, os testes serão aplicados antes, imediatamente após, após 2h e 24h após o treino e consistem em avaliar a força máxima dos membros inferiores (RM), a taxa de produção de força e a força *steadiness* (célula de carga), o equilíbrio dinâmico (biodex balance) e a proprioceção da posição articular (goniómetro manual). A estes

testes funcionais serão aliadas recolhas de sinal eletromiográfico (OTBioelettronica) para averiguar as alterações neuromusculares decorridas. Os testes serão sempre aplicados por pessoas com competências e conhecimentos na área.

Benefícios e Riscos Associados

Sendo esta uma investigação transversal, com o intuito de verificar os efeitos agudos do exercício excêntrico, poderão existir alterações benéficas ao nível da força, mas sem qualquer efeito crónico. Também não são esperados quaisquer riscos associados ao treino nem à recolha dos dados. Os resultados obtidos serão utilizados para o projeto de investigação que fazem parte do plano de estudos do 2º Ano de Mestrado em Ciências do Desporto do IPG e poderão estar sujeitos a publicação científica.

Consentimento Informado

Declaro que estou consciente do projeto de investigação “Efeito do exercício excêntrico no controlo postural, na produção e estabilidade de força em jovens adultos” e que recebi toda a informação necessária sobre o mesmo.

Reconheço que a minha participação é voluntária e tenho a honra de dar o meu consentimento informado para fazer parte da amostra do projeto de investigação acima referenciado.

Estou consciente que os resultados obtidos serão publicados e que a minha entidade será salvaguardada.

Guarda, ____/____/____

(Assinatura do participante)

Anexo 2

Artigo publicado no âmbito do projeto de investigação



Neuromechanical adjustments to a single session of isotonic eccentric heavy resistance exercise

Cristiana Francisco¹, Stefan Venâncio¹, Nuno Serra¹, Jose Antonio de Paz², Carolina Vila-Chã^{1,3}

¹Polytechnic Institute of Guarda, Portugal

²Universidad de León - León - Spain

³Research Center in Sports Sciences, Health Sciences and Human Development, CIDESD, Portugal, cvilacha@ipg.pt

ABSTRACT

The aim of this study was to investigate the neuromechanical adjustments induced by isotonic eccentric exercise and delayed onset muscle soreness (DOMS) of the quadriceps throughout a range of motor tasks. Fifteen healthy volunteers (age, mean \pm SD, 23.2 \pm 2.9 years) performed maximum voluntary contractions (MVC) and explosive isometric contractions of the knee extensors, followed by isometric contractions at 10, 20, 30, 40 and 60% MVC at baseline, immediately after and 24 h after isotonic eccentric exercise of the quadriceps (4 sets of 10 reps at 120% 1RM). Coefficient of variation of the force signal (CoV) was computed from the submaximal contractions and rate of force development (RFD) was estimated from the explosive isometric contraction. The maximal force decreased by 17.9% immediately after exercise ($P < 0.01$) and remained reduced by 13.6% 24h following exercise ($P < 0.01$) with respect to baseline. The maximum RFD decreased by 11.3% immediately after exercise ($P < 0.01$) and remained reduced by 12.5% at 24h ($P < 0.01$). When compared to baseline, the CoV for force during the submaximal contractions was greater immediately after eccentric exercise ($P \leq 0.05$) and returned to baseline values following 24h. During the explosive contractions, the normalized EMG of the vasti muscles increased immediately after exercise, but returned to baseline values 24h after exercise. Reduced force steadiness was accompanied by a general increase in normalized EMG amplitude of the vasti muscles.

Key words: eccentric exercise, isotonic load, rate of force development, force steadiness, EMG

INTRODUCTION

Human neuromuscular system are able to produce an extensive repertoire of force and movement, which ranges from powerful to precise movements. Depending on the motor task characteristics, several features of motor control determine the muscle activation and consequently the precision and speed of the force patterns to accomplish the task[1]. These features can be affected by heavy eccentric exercise that typically leads to myofibrillar damage inflammatory reaction and disturbance of the extracellular matrix [2]. Research on eccentric exercise have been mainly performed with isokinetic loads and less attention was given to eccentric exercise with isotonic loads.

MATERIALS AND METHODS

Subjects

Fifteen healthy volunteers participated in the experiment (age, mean \pm SD, 23.2 \pm 2.9 years) with no history of musculoskeletal disorders of the lower limbs participated in the study. The subjects were requested to avoid physical exercise and medication during the experimental period. The study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki and subjects provided informed written consent prior to participation in the study.

Experimental procedure

Maximum voluntary contractions (MVC), explosive isometric contraction and submaximal isometric contraction of the knee extensors of the dominant lower limb were tested at baseline, immediately following eccentric exercise, and 24 h after isotonic eccentric exercise. The isotonic eccentric exercise was performed in a knee extensor machine (Panatta, Italy). Each subject performed 4 sets of 10 repetitions with a load of 120% of the 1RM (previously estimated by a 3RM test). A rest interval of 1 minute and 30 seconds were given between sets. The subjects only performed the eccentric phase of the exercise while load in the concentric phase was moved by 2 spotters.

During the experimental sessions, force and EMG parameters, as well as pain ratings were assessed. All measures were performed while the subject was comfortably seated in a customized home-made chair,

with their hip and distal thigh firmly strapped to the chair. The dominant leg was secured to the load cell (SENSOR, load cell 815, United Kingdom), above the lateral malleolus, with the knee at 90° of flexion. Each subject performed five isometric MVCs of 5s each, separated by 2 minutes of rest. Then, the subjects were asked to perform 3 explosive contractions, exerting their maximal force as fast as possible. Trials were separated by 2 min of rest and subjects were verbally encouraged to give their maximum. Following 15 minutes of rest, subjects performed isometric contractions for 12 s at target forces of 10, 20, 30, 40 and 60% of the MVC measured in each experimental condition. Subjects were provided with visual feedback of the force exerted, which was displayed on a computer screen in front of them. The isometric tasks required the subject to match the target force level within two error bars of 2% MVC centred around the target force level. For all conditions, knee extension force and surface EMG of the quadriceps and hamstrings muscles were recorded simultaneously. Surface EMG signals were recorded from the vastus medialis (VM), vastus lateralis (VL), biceps femoris (BF), and semitendinosus (ST), according to SENIAM recommendations. The average rectified value (ARV) was computed from the surface EMG signals in consecutive non-overlapping signals. Coefficient of variation of the force signal (CoV) was computed from the submaximal contractions and maximum rate of force development (RFD) was estimated from the explosive isometric contraction. To confirm the presence of DOMS 24 h post-exercise, participants were asked to verbally rate their perceived pain on a scale from 0 ("no soreness") to 10 ("worst soreness imaginable"). The effects of eccentric training on MVC, RFD CoV and ARV of the vasti muscles and hamstrings were assessed with one-way repeated measures ANOVA with a factor of time (baseline, immediately following eccentric exercise, and 24 h after). Pair-wise comparisons were performed with Bonferroni post hoc when ANOVA was significant.

RESULTS AND DISCUSSION

Twenty-four hours following exercise, the subjects rated their perceived pain intensity as 3.6 ± 2.6 (score out of 10). The maximal force decreased by 17.9% immediately after exercise (-121.9 ± 52.8 N; $P < 0.01$) and remained reduced by 13.6% 24h following exercise (-92.7 ± 54.5 N; $P < 0.01$) with respect to baseline. The maximum RFD decreased by 11.3% immediately after exercise (-289.6 ± 170.1 N.s⁻¹; $P < 0.01$) and remained reduced by 12.5% at 24h (-230.2 ± 221.9 N.s⁻¹; $P < 0.01$). During the explosive contractions, the normalized EMG of the vasti muscles increased immediately after exercise, but returned to baseline values 24h after exercise. Assessment of the maximal force during isometric contractions is the most common method of assessing muscle function following eccentric exercise and is considered a reliable indicator of muscle damage. Nevertheless, the initial damage may not parallel the early decline in force [3]. This suggests that other alterations, mostly resulting from fatigue, determine the force loss. When compared to baseline, the CoV for force during the submaximal contractions was greater immediately after eccentric exercise (up to 22% higher than baseline, $P \leq 0.05$) and returned to baseline values following 24h. Reduced force steadiness was accompanied by a general increase in normalized EMG amplitude of the vasti muscles. No changes were observed in the antagonist activity. Alterations in recruitment and rate coding properties of the motor units and activation pattern of the motor unit population (e.g., motor unit synchronization and coherence) are determinant factors of force variability [4].

CONCLUSIONS

In conclusion, isotonic eccentric heavy resistance exercise of the quadriceps induced different magnitudes of impairment across motor tasks immediately after exercise. These changes were accompanied by increased EMG amplitude of the vasti muscles. The DOMS produced by this type of exercise only impaired MVC and RFD of the knee extensors in the following 24h. The present study indicates that neural adjustments followed a different time course depending on the characteristics of the force task. These compensatory mechanisms may increase the risk of further injury.

REFERENCES

- [1] Franchi M V., Reeves ND, Narici M V. Skeletal muscle remodeling in response to eccentric vs. concentric loading: Morphological, molecular, and metabolic adaptations. *Frontiers in Physiology*. 2017.
- [2] Vogt M, Hoppeler HH. Eccentric exercise: mechanisms and effects when used as training regime or training adjunct. *J Appl Physiol*. 2014;
- [3] Isner-Horobeti M-E, Dufour SP, Vautravers P, Geny B, Coudeyre E, Richard R. Eccentric Exercise Training: Modalities, Applications and Perspectives. *Sport Med [Internet]*. 2013;43(6):483–512. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s40279-013-0052-y>
- [4] Dartnall TJ, Rogasch NC, Nordstrom MA, Semmler JG. Eccentric Muscle Damage Has Variable Effects on Motor Unit Recruitment Thresholds and Discharge Patterns in Elbow Flexor Muscles. *J Neurophysiol*. 2009;